



DISERTASI - RE 093317

**PENINGKATAN FUNGSI
BOEZEM MOROKREMBANGAN SEBAGAI
PENGOLAH AIR LIMBAH PERKOTAAN
MENGUNAKAN SISTEM ALGA - BAKTERI**

Agus Slamet
NRP 3309301002

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. Joni Hermana, MSc.ES., Ph.D.
Prof. Drs. Basuki Widodo, MSc.,Ph.D.

PROGRAM DOKTOR
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK LINGKUNGAN
PROGRAM PASCA SARJANA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



DISSERTATION - RE 093317

IMPROVEMENT THE FUNCTION OF BOEZEM MOROKREMBANGAN AS URBAN WASTEWATER TREATMENT USING ALGAE-BACTERIAL SYSTEM

Agus Slamet
NRP 3309301002

Promotor :
Prof. Ir. Joni Hermana, MSc.ES., Ph.D.
Prof. Drs. Basuki Widodo, MSc.,Ph.D.

DOCTORAL PROGRAM

AREA OF EXPERTISE IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2016

**PENINGKATAN FUNGSI BOEZEM MOROKREMBANGAN SEBAGAI
PENGOLAH AIR LIMBAH PERKOTAAN
MENGUNAKAN SISTEM ALGA – BAKTERI**

*Improvement the function of Boezem Morokrembangan as urban wastewater
treatment using algae-bacterial system*

Disertasi disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Doktor (Dr.)

Di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

Agus Slamet

NRP. 3309301002

Tanggal Ujian : 28 Januari 2016

Periode Wisuda : Maret 2016

Disetujui oleh Tim Penguji :

Prof. Ir. Joni Hermana, MSc.ES., PhD.
NIP.19600618198803 1 002

(Promotor)

Prof. Basuki Widodo, MSc., PhD.
NIP. 19650605 198903 1 002

(Co-Promotor)

Prof. Ir. Wahyono Hadi, MSc., PhD
NIP.19500114 197903 1 001

(Penguji)

Prof. Yulinah Trihadiningrum, M.AppSc., PhD (Penguji)
NIP.19530706 198403 2 004

Prof. Dr. Ir. Agoes Soegianto, DEA.
NIP.196220803 198710 1 001

(Penguji)



Direktur Program Pasca Sarjana,

Prof. Ir. Jahhar Manfaat, MSc., PhD
NIP. 19661202 198701 1 001

PENINGKATAN FUNGSI BOEZEM MOROKREMBANGAN SEBAGAI PENGOLAH AIR LIMBAH PERKOTAAN MENGUNAKAN SISTEM ALGA – BAKTERI

Oleh

Agus Slamet
NRP : 3309301002

Promotor :

Prof. Ir.Joni Hermana,MSc.ES.,PhD.
Prof.Basuki Widodo,MSc.,PhD.

ABSTRAK

Boezem Morokrembangan merupakan salah satu Boezem terbesar di Kota Surabaya. Boezem berfungsi ganda, sebagai pengendali banjir, menampung air limbah perkotaan dengan area pelayanan $\pm 25\%$ wilayah Kota Surabaya. Saat ini, Boezem tercemar berat, cepat terjadi pendangkalan, air efluen tidak memenuhi BMA Klas IV PP No.82/2001. Upaya peningkatan fungsi Boezem sebagai pengolah air limbah layak dilakukan. Penelitian bertujuan mengkaji kinerja sistim alga-bakteri untuk pengolah air limbah domestik dalam Boezem. Kajian kinerja eksisting Boezem dan kemampuan sistim alga-bakteri mengolah air limbah dalam skala laboratorium merupakan bagian penting dalam penelitian ini.

Penelitian dilakukan dalam tiga tahap. Tahap pertama, kajian lapangan terkait kuantitas dan kualitas air limbah domestik, kinerja Boezem, dan dominasi spesies alga pada dua musim. Tahap kedua, kajian faktor lingkungan pada kinerja sistim alga-bakteri menggunakan HRAP skala laboratorium dengan proses *batch* dan aliran kontinyu. Faktor lingkungan dikaji pada uji kinerja proses meliputi durasi pencahayaan, kedalaman air, aerasi, salinitas dan waktu tinggal. Tahap ketiga, kajian Boezem sebagai pengolah air limbah berdasar hasil tahap 1 dan 2. Kajian dilakukan dengan menggunakan persamaan perencanaan berdasarkan biokinetika proses HRAP yang telah dikembangkan peneliti terdahulu

Karakteristik air limbah domestik influen Boezem Morokrembangan meliputi rasio BOD/COD; $\text{N-NH}_3^+/\text{P-PO}_4^-$; $\text{N}_\text{T}/\text{P}_\text{T}$; surfaktan; salinitas dan pH memenuhi persyaratan pertumbuhan alga-bakteri. Boezem telah kehilangan kemampuan pemulihan diri akibat besarnya beban pencemar. Penelitian tahap ke dua menunjukkan bahwa sistem alga-bakteri mampu mengolah air limbah influen

Boezem. Hasil terbaik HRAP dioperasikan dengan pencahayaan secara alamiah dengan HRT > 1,5 hari, dan kedalaman air 0,2 – 0,6 m. Penelitian menghasilkan nilai koefisien biokinetik tidak jauh berbeda dari hasil peneliti terdahulu dengan air limbah buatan dan kultur alga murni. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa Boezem hanya mampu mengolah air limbah domestik dengan konsentrasi BOD maksimum 31 mg/L. Sistem alga-bakteri dapat dimanfaatkan untuk pengolahan air limbah domestik influen Boezem dengan beberapa upaya pengelolaan. Pengelolaan Boezem meliputi pengendalian sedimen, kontrol HRT, penyediaan bakteri aktif untuk menjaga rasio alga/bakteri $\pm 0,004$ dan penambahan aerasi. Media biofiltrasi dapat membantu pengendalian sedimentasi sekaligus penyedia biomassa aktif dari biofilm yang terlepas. Pemanfaatan sistem alga-bakteri dapat meningkatkan fungsi Boezem sebagai pengolah air limbah domestik sekaligus menyerap emisi CO₂ yang dihasilkan.

Kata Kunci : *Sistem alga-bakteri, Boezem Morokrembangan, HRAP.*

Improvement the function of Boezem Morokrembangan as urban wastewater treatment using algae-bacterial system

by

Agus Slamet
NRP.3309301002

Promoto

Promoters :

Prof. Ir.Joni Hermana, MSc.ES.,Ph.D
Prof.Basuki Widodo, MSc.,Ph.D

ABSTRACT

Boezem Morokrembangan is one of the largest retention ponds in Surabaya, which is used as a flood controller, and retaining untreated wastewater from around 25% of Surabaya service areas. Currently, this Boezem is heavily polluted and prone to silting. Moreover, according to Government Regulation (PP 82/2001), its effluent does not meet the forth grade of Surface Water Standard. The efforts to increase Bozem function as wastewater treatment worth doing. The objective of this research is to evaluate the performance of algae-bacteria system to recover Morokrembangan Boezem. This research examines the existing Boezem self purification performance and capability via algal-bacterial system at high rate alga pond (HRAP) conducted at laboratory scale. The results are then used as a basic analysis for Boezem recovery.

Research was carried out in three phases. The first phase was field observation on the quantity and quality of influent wastewater, the Boezem performance and the majority of algae species in the Boezem. Next, the second phase was to understand the effect of environmental factors on the performance of algal-bacterial system via HRAP in a laboratory scale. The experiments were performed in two different systems (i.e., batch and continuous flow) and five variables of environmental factors (i.e., duration of lighting exposure, water depth, additional aeration, salinity, and retention time). The third phase was analyses the capability of Boezem recovery using the results of two previous phases with HRAP equations that has been developed by previous researchers.

First phase research showed that the carrying capacity of Morokrembangan Boezem has been lost, and the wastewater quality on influent was still met the requirement for growth and development of algae-bacteria system. The wastewater quality parameters i.e., BOD/COD, $\text{N-NH}_3^+/\text{P-PO}_4^-$; $\text{N}_\text{t}/\text{P}_\text{t}$; surfactants, salinity, and pH. The second phase research indicate that natural lighting and additional aeration result better performance of algal-bacterial system

for treating urban wastewater. The value of biokinetic coefficient of algal-bacterial system were not considerably different from the results of previous researchers. The result of analysis showed that algal-bacterial system can not be used directly to recover Boezem performance. The system still can be used to treat wastewater on influent Boezem, but need several operational requirement to meet the effluent quality standard. The operational requirement i.e., Control sediment, HRT and added aeration on Boezem. HRAP system was only be able to treat urban wastewater with maximum BOD of 31 mg/L. However, by maintaining water depth, keep the ratio of algal/bacterial ± 0.004 , and the concentration of active biomass, adding aeration during night, algal-bacterial can be used to treat for all influent of wastewater. Furthermore, biofiltration media can be used to help in controlling sedimentation so that increase the remediation, and to provide active bacteria for HRAP system. Utilization of algae-bacterial system can improve Boezem function as urban waste water treatment from its catchment area as well as an absorber of CO₂ emissions.

Keywords: *Algal-bacteria system; Morokrembangan Boezem; HRAP.*

DAFTAR LAMPIRAN

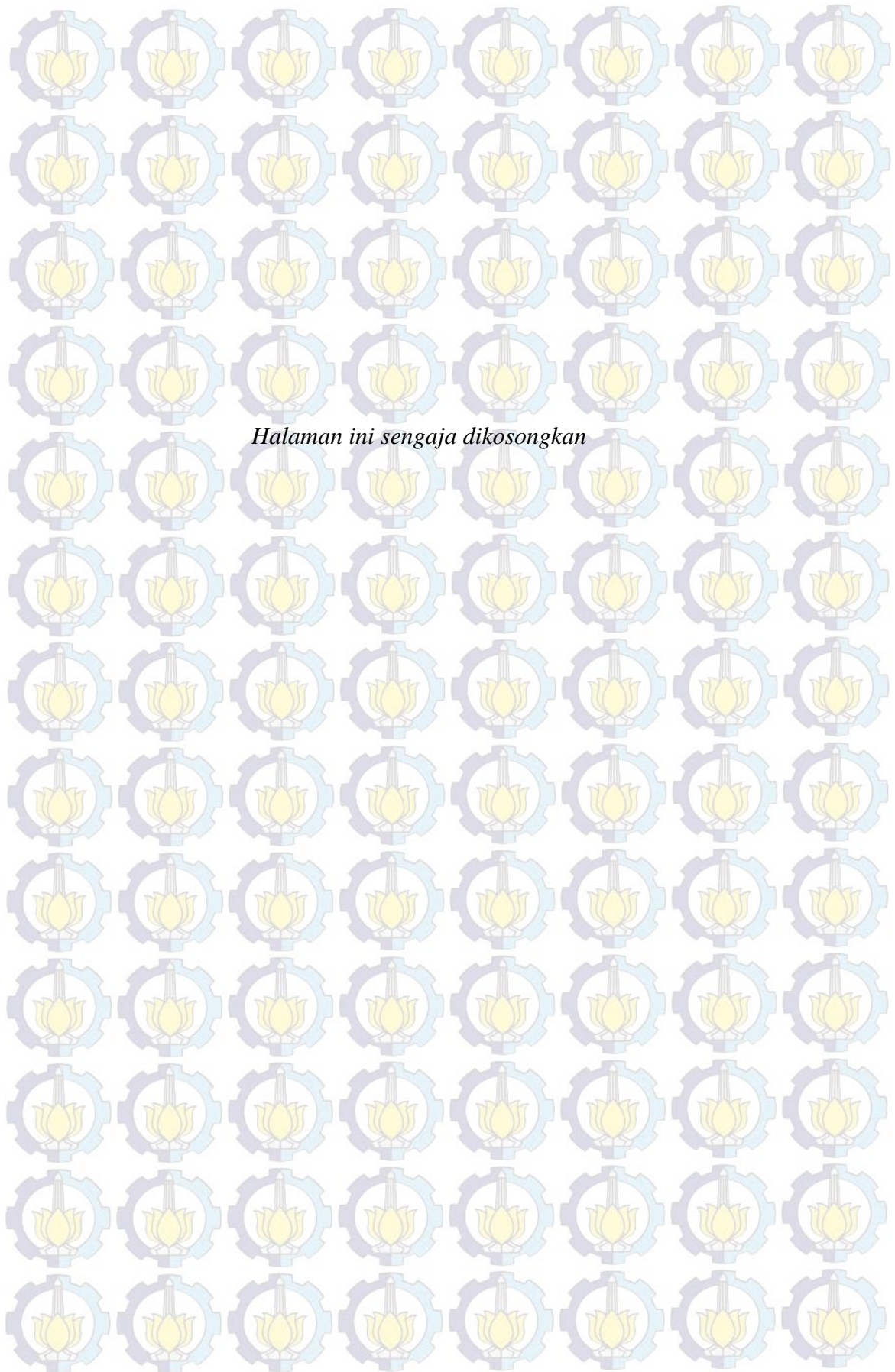
Lampiran I	Metode dan Bahan Analisis Penelitian	
Lampiran II	Hasil Penelitian Lapangan	
Tabel L - 1	Data Hasil Pengukuran Debit air masuk dan keluar Boezem Morokrengan Tahun 2010	180
Tabel L - 2	Data Hasil Pengukuran Debit air masuk dan keluar Boezem Morokrengan Tahun 2010	181
Tabel L - 3	Hasil pengukuran Kualitas Air limbah pada <i>inlet</i> Boezem dari Kali Purwodadi, tahun 2010 saat musim kemarau	182
Tabel L - 4	Hasil Perhitungan konsentrasi pencemar ke Inlet Boezem dengan neraca Massa, tahun 2010 saat kemarau	183
Tabel L - 5	Hasil Pengukuran pada Outlet Boezem, tahun 2010 saat musim kemarau	184
Tabel L - 6	Hasil pengukuran Kualitas Air limbah pada <i>inlet</i> Boezem dari Kali Purwodadi, tahun 2010 saat musim hujan.	185
Tabel L - 7	Hasil pengukuran Kualitas Air limbah pada <i>inlet</i> Boezem dari Kali Grege, tahun 2010 saat musim hujan	185
Tabel L - 8	Hasil Perhitungan konsentrasi pencemar ke Inlet Boezem dengan neraca Massa, tahun 2010 saat kemarau	186
Tabel L - 9	Hasil Pengukuran pada Outlet Boezem, tahun 2010 saat musim hujan.	186
Tabel L - 10	Hasil Pengukuran Debit air Boezem Morokrengan Musim Kemarau, 2010	187
Tabel L - 11	Debit air Boezem Morokrengan Musim Hujan, 2010	188
Tabel L - 12	Hasil Pengukuran Konsentrasi COD,(mg/L) Saat musim kemarau tahun 2011	189
Tabel L - 13	Hasil Pengukuran Konsentrasi Total Solid,TS (mg/L) Saat musim kemarau, tahun 2011	190
Tabel L - 14	Hasil Pengukuran Konsentrasi Total Suspended Solid,TSS (mg/L) saat musim kemarau tahun 2011	191
Tabel L - 15	Hasil Pengukuran Konsentrasi DO, (mg/L) Saat musim kemarau tahun 2011	192
Tabel L - 16	Hasil Perhitungan konsentrasi pencemar ke Inlet Boezem dengan neraca Massa, tahun 2011	193
Tabel L - 17	Hasil Pengukuran Konsentrasi COD,(mg/L) Saat musim Hujan tahun 2011	194
Tabel L - 18	Hasil Pengukuran Konsentrasi Total Solid,TS (mg/L) Saat musim Hujan tahun 2011	195
Tabel L - 19	Hasil Pengukuran Konsentrasi Total Suspended Solid,TSS (mg/L) Saat musim Hujan tahun 2011	196
Tabel L - 20	Hasil Pengukuran Konsentrasi DO, (mg/L) Saat musim Hujan tahun 2011	197
Tabel L - 21	Hasil Pengukuran Konsentrasi Nitrogen Ammonia, N-	198

	NH ₃ , (mg/L) tahun 2011	
Tabel L - 22	Hasil Pengukuran Konsentrasi Phosphat, PO ₄ (mg/L) tahun 2011	199
Tabel L - 23	Hasil Pengukuran suhu (°C) pada Boezem , Tahun 2011	200
Tabel L - 24	Hasil Pengukuran suhu (°C) pada Boezem , Tahun 2011	201
Tabel L - 25	Hasil penelitian pada muara Kali Greges menuju ke Boezem Morokkembangan Selatan saat musim Hujan, 2013	202
Tabel L - 26	Hasil penelitian pada muara Kali Greges menuju ke Boezem Morokkembangan Selatan saat musim kemarau, 2013	202
Tabel L - 27	Hasil penelitian konsentrasi TS, TVS pada muara KaliGreges menuju ke Boezem Morokkembangan Selatan, 2013	203
Tabel L - 28	Hasil Pengukuran Kualitas Air Limbah masuk ke Boezem dari Kali Greges tahun 2014	204
Tabel L - 29	Hasil Pengukuran Kualitas Air Limbah masuk ke Boezem dari Kali Purwodadi, tahun 2014	205
Tabel L - 30	Hasil Pengukuran Kualitas Air Limbah pada <i>outlet</i> Boezem tahun 2014	206
Tabel L - 31	Hasil Pengukuran Hasil Suhu Air badan Badan Air Boezem Morokkembangan,2014.	207
LAMPIRAN III Analisis Hasil Penelitian Sistem Alga – Bakteri Untuk Pengolahan Air Limbah Domestik Influen Boezem Morokkembangan		
Tabel L - 32	Hasil pengukuran konsentrasi COD Penelitian Pendahuluan	208
Tabel L - 33	Pertambahan konsentrasi alga sebagai [klorofil-a, mg/L]	208
Tabel L - 34	Data pengukuran konsentrasi COD (mg/L) dari percobaan proses <i>batch</i> dengan pencahayaan alamiah	209
Tabel L - 35	Data pengukuran konsentrasi COD (mg/L) dari percobaan proses <i>batch</i> dengan penambahan pencahayaan menjadi 24 Jam	209
Tabel L - 36	Data pengukuran konsentrasi MLSS (mg/L) dari percobaan proses <i>batch</i> dengan pencahayaan alamiah	210
Tabel L - 37	Data pengukuran konsentrasi MLSS (mg/L) dari percobaan proses <i>batch</i> dengan penambahan pencahayaan menjadi 24 Jam	210
Tabel L - 38	Data pengukuran konsentrasi alga diukur sebagai klorofil-a, (mg/L) dari percobaan proses <i>batch</i> dengan pencahayaan alamiah	211
Tabel L - 39	Data pengukuran konsentrasi alga diukur sebagai klorofil-a (mg/L) percobaan proses <i>batch</i> dengan pencahayaan 24 Jam	211
Tabel L - 40	Data pengukuran konsentrasi P-PO ₄ (mg/L) dari percobaan	212

	proses <i>batch</i> dengan pencahayaan alamiah	
Tabel L - 41	Data pengukuran konsentrasi P-PO ₄ (mg/L) dari percobaan proses <i>batch</i> dengan penambahan pencahayaan 24 Jam	212
Tabel L - 42	Data pengukuran konsentrasi N-NH ₃ (mg/L) dari percobaan proses <i>batch</i> dengan pencahayaan alamiah	213
Tabel L - 43	Data pengukuran konsentrasi N-NH ₃ (mg/L) dari percobaan proses <i>batch</i> dengan penambahan pencahayaan 24 Jam	213
Tabel L - 44	Data pengukuran konsentrasi N-NO ₃ (mg/L) dari percobaan proses <i>batch</i> dengan pencahayaan alamiah	214
Tabel L - 45	Data pengukuran konsentrasi N-NO ₃ (mg/L) dari percobaan proses <i>batch</i> dengan penambahan pencahayaan menjadi 24 Jam	214
Tabel L - 46	Efek waktu pencahayaan dan kedalaman air pada kinerja HRAR proses <i>batch</i> untuk penurunan COD	215
Tabel L - 47	Perubahan konsentrasi Nilai rerata perubahan konsentrasi MLSS, mg/L percobaan secara proses <i>batch</i>	215
Tabel L - 48	Nilai rerata perubahan konsentrasi alga diukur sebagai klorofil-a, mg/L dengan percobaan secara proses <i>batch</i>	216
Tabel L - 49	Hasil penelitian pada HRAR Kontrol	217
Tabel L - 50	Hasil penelitian HRAR dengan Perlakuan Aerasi 12 Jam di Malam hari	218
Tabel L - 51	Hasil penelitian HRAR dengan Perlakuan Aerasi selama 24 Jam	219
Tabel L - 52	Resume hasil Penelitian Pengaruh Aerasi pada sistem HRAR proses <i>batch</i> dengan lima Kali ulangan percobaan	220
Tabel L - 53	Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 4,5 dan salinitas 0,8 ppt, Running ke 1	221
Tabel L - 54	Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 4,5 dan salinitas 0,8 ppt, Running ke 2	222
Tabel L - 55	Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 4,5 dan salinitas 0,8 ppt, Running ke 3	223
Tabel L - 56	Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 6 dan salinitas 0,8 ppt, Running ke 1	225
Tabel L - 57	Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 6 dan salinitas 0,8 ppt, Running ke 2	226
Tabel L - 58	Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 6 dan salinitas 0,8 ppt, Running ke 3	227
Tabel L - 59	Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 9 dan salinitas 0,8 ppt, Running ke 1	229
Tabel L - 60	Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 9 dan salinitas 0,8 ppt, Running ke 2	230
Tabel L - 61	Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 9 dan salinitas 0,8 ppt, Running ke 3	231
Tabel L - 62	Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 4,5 dan	233

Tabel L – 63	salinitas 1,5 ppt, Running ke 1 Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 4,5 dan	234
Tabel L – 64	salinitas 1,5 ppt, Running ke 2 Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 4,5 dan	235
Tabel L – 65	salinitas 1,5 ppt, Running ke 3 Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 6,0 dan	237
Tabel L – 66	salinitas 1,5 ppt, Running ke 1 Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 6,0 dan	238
Tabel L – 67	salinitas 1,5 ppt, Running ke 2 Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 6,0 dan	239
Tabel L – 68	salinitas 1,5 ppt, Running ke 3 Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 9,0 dan	241
Tabel L – 69	salinitas 1,5 ppt, Running ke 1 Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 9,0 dan	242
Tabel L – 70	salinitas 1,5 ppt, Running ke 2 Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 9,0 dan	243
Tabel L – 71	salinitas 1,5 ppt, Running ke 3 Hasil Penelitian HRAR KONTROL,	245
Tabel L – 72	Efek salinitas pada kinerja HRAR proses <i>batch</i> pada penurunan COD	247
Tabel L – 73	Efek salinitas pada kinerja HRAR proses <i>batch</i> pada perubahan VSS awal	248
Tabel L – 74	Efek salinitas pada kinerja HRAR proses <i>batch</i> pada kenaikan VSS	249
Tabel L – 75	Efek salinitas pada kinerja HRAR proses <i>batch</i> perubahan konsentrasi klorofil	250
Tabel L – 76	Efek salinitas pada kinerja HRAR proses <i>batch</i> kenaikan konsentrasi klorofil-a	251
Tabel L – 77	Analisis penentuan nilai Y dan kd, pada salinitas 0,8 ppt	255
Tabel L – 78	Analisis penentuan nilai Y dan kd, pada salinitas 1,5 ppt	256
Tabel L – 79	Hasil analisis nilai Y dan kd	256
Tabel L – 80	Hasil Pengukuran konsentrasi COD Pada HRAR Aliran Kontinyu tanpa penambahan bakteri	260
Tabel L – 81	Hasil Pengukuran Konsentrasi MLSS, mg/L tanpa penambahan bakteri	260
Tabel L – 82	Hasil Pengukuran Konsentrasi Klorofil-a, mg/L tanpa penambahan bakteri	261
Tabel L – 83	Data Hasil Analisa <i>Chlorophyll a</i> dengan Penambahan Bakteri	261
Tabel L – 84	Data Hasil Perhitungan Biomassa Alga dengan Penambahan Bakteri	262
Tabel L – 85	Data Hasil Analisa MLVSS dengan Penambahan Bakteri	262
Tabel L – 86	Perhitungan konsentrasi Bakteri	263
Tabel L – 87	Analisis data untuk penentuan koefisien Biodegradability detergen (K)	264
Tabel L – 88	Analisis data untuk penentuan koefisien Biodegradability (K)	264

Tabel L – 89	Analisis data korelasi rasio alga/bakteri dan kemampuan penyisihan detergen dan COD	264
Tabel L – 90	Analisis data untuk penentuan koefisien Biokinetik Y dan kd	265
Tabel L – 91	Analisis prediksi BOD efluen (Se) Boezem sebagai HRAP dengan pendekatan aplikasi nilai koefisien <i>biodegradability</i> K,dan Volume Boezem = 282000 m ³	266
Tabel L - 92	Perhitungan Simulasi Aplikasi Koefisien Biokinetik Dengan Pendekatan berbasis Persamaan Monod	267
Tabel L - 93	Analisis prediksi kebutuhan biomassa aktif (VSS) untuk pemulihan Boezem sebagai HRAP dengan pendekatan aplikasi nilai koefisien biokinetik Y dan kd, dengan Volume Boezem = 282000 m ³	268
Lampiran IV	Hasil Analisis Statistik Pengaruh Variabel Kedalaman Dan Pencahayaan	269
Lampiran V	Hasil Identifikasi Alga pada Boezem Morokrembangan Tahun 2011 dan 2012	273
Lampiran VI	Analisis Produksi Alga, O ₂ dan Serapan CO ₂ , Kebutuhan Aerator	297



KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil alamiin, segala puji syukur dihaturkan ke hadirat Allah SWT karena atas rahmat, hidayah dan ridhoNya penyusun dapat menyelesaikan laporan disertasi yang berjudul “Peningkatan Fungsi Boezem Morokembangan Sebagai Pengolah Air Limbah Perkotaan Menggunakan Sistem Alga – Bakteri”. Dalam penyelesaian penelitian dan penyusunan disertasi banyak sekali bantuan dari semua pihak, baik ide, pemikiran, tenaga dan materiil. Oleh karenanya, dengan segala hormat, kami haturkan terimakasih sebesar-besarnya, terutama kepada :

1. Promotor disertasi Prof. Ir. Joni Hermana, MSc.Es. PhD dan Prof. Drs. Basuki Widodo, MSc. PhD.
2. Bapak dan Ibu pengarah dan penguji, Prof. Ir. Wahyono Hadi, MSc. PhD., Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc., Prof. Dr. Ir. Agoes Soegianto, DEA.
3. Bapak Rektor dan Wakil Rektor ITS, Bapak Direktur dan Wakil Direktur Program Pasca Sarjana ITS, Dekan dan Wakil Dekan FTSP-ITS, Ketua Jurusan dan Sekretaris Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS, Ketua Program dan Sekretaris Program Pasca Sarjana Teknik Lingkungan FTSP – ITS.
4. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen, Karyawan dan Staf Laboratorium di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – ITS.
5. Rekan-rekan mahasiswa Program Doktor Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
6. Rekan-rekan Tim Peneliti Alga dan Boezem program S1: Angga C, Hasriyani, Ade, Ulfa, Sekar, Jufrina, Ratna, Belinda, Brike, Ratri, Ika, Chandra, Wawan, Lancur, Errie. Tim Peneliti program S2: Reni R, Ika, Ratri, Ratna dan Erlan.
7. Istri tercinta, Yuyun Kuswardhani dan anak-anakku tercinta, Rachmad Ramadhan Yogaswara, ST. MT., Ayu Sheilla Rachmawati.
8. Keluarga Besar Mas Sajid dan Keluarga Besar R. Soetojo Wirjo Adhi Kusumo.
9. Seluruh saudara, rekan-rekan dan kerabat yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penyusun berharap semoga hasil disertasi ini dapat dipergunakan sebagai dasar pengembangan ilmu dan teknologi yang bermanfaat bagi semua insan akademisi dan pecinta lingkungan, khususnya Pemerintah Kota Surabaya dalam rangka pengendalian, pemulihan dan pelestarian kualitas Lingkungan.

Surabaya, Februari 2016

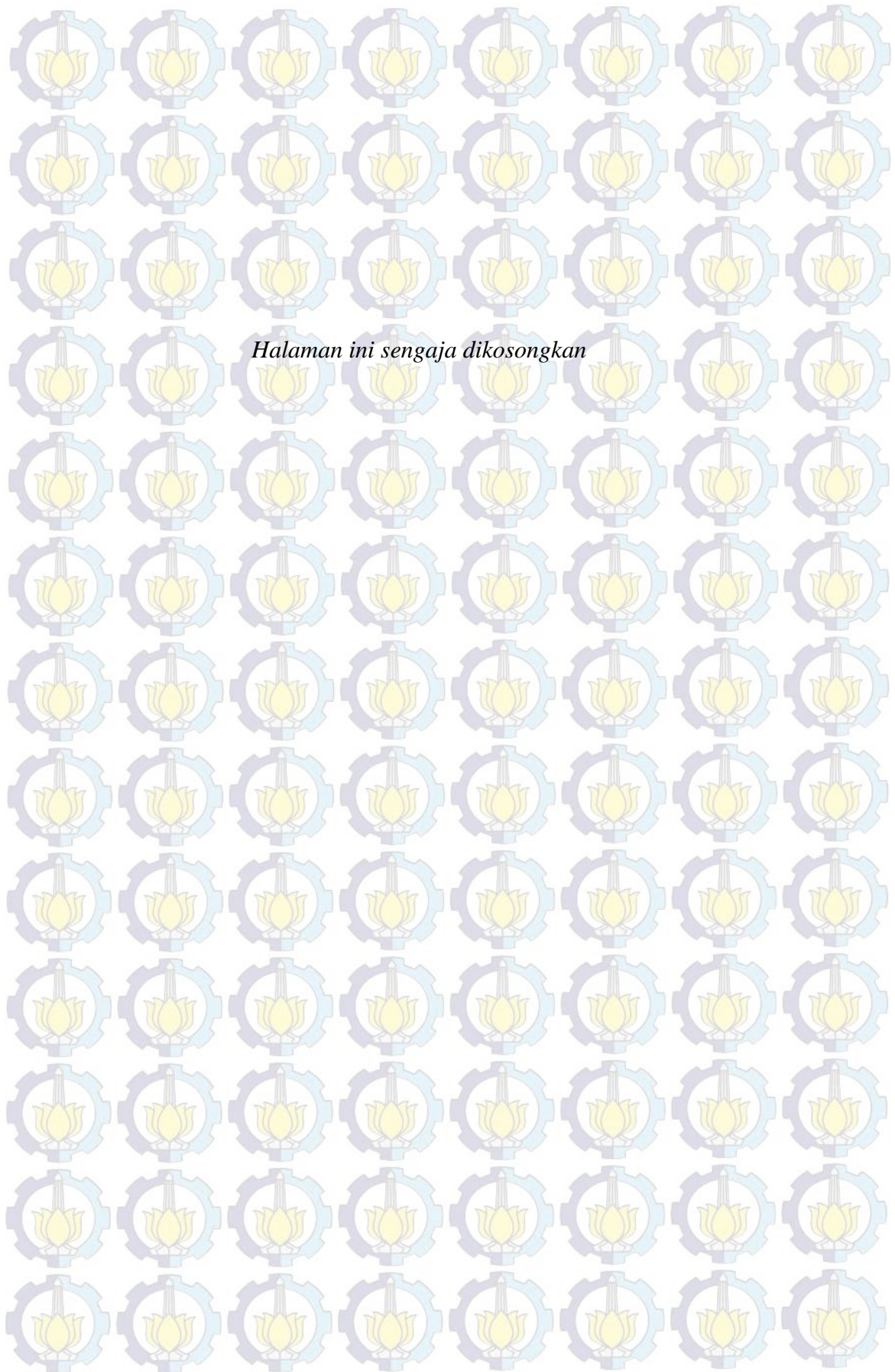
Agus Slamet.

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Abstrac	iii
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar	xiii
Daftar Lampiran	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian	5
1.3.1. Tujuan Penelitian	5
1.3.2. Manfaat Penelitian	5
1.4. Originalitas Penelitian	7
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	9
2.1. Air Limbah Permukiman	9
2.2. Boezem Morokrembangan	10
2.3. High Rate Algae Pond (HRAP)	11
2.3.1. Proses Biologi dalam Sistem HRAP	15
2.3.1.1. Jenis dan Karakteristik Alga	16
2.3.1.2. Proses Metabolisme Alga	17
2.3.1.3. Laju Pertumbuhan sistem Alga-Bakteri	25
2.3.1.4. Model – model Kinetika Pertumbuhan Alga	29
2.3.2. Kinerja HRAP dari Penelitian Terdahulu	31
2.4. Perencanaan Sistem HRAP	32
2.4.1. Pendekatan Neraca Massa BOD sebagai susbtrat	33
2.4.2. Kebutuhan Oksigen dan Mixing dalam Sistem HRAP	35
BAB 3 METODA PENELITIAN	37
3.1. Kerangka Penelitian	37
3.2. Penelitian Lapangan pada Kinerja Boezem Morokrembangan	39
3.2.1. Metode Sampling dan Pengukuran Debit	40
3.2.2. Pengolahan data dan Kajian Hasil Penelitian Lapangan.	41
3.2.3. Penelitian Dominasi Mikroalga yang Tumbuh dan Berkembang di Dalam Boezem.	42
3.3. Penelitian HRAP dalam Skala Laboratorium	44
3.3.1. Penelitian Sistim Alga-bakteri dalam Reaktor Proses <i>Batch</i>	45
3.3.2. Penelitian Kinerja HRAR Proses Secara <i>Batch</i>	47
3.3.2.1. Penelitian Pengaruh Waktu Pencapaian, Aerasi dan Kedalaman Air Pada Kinerja Sistem alga-bakteri	47
3.3.2.2. Penelitian Pengaruh Salinitas pada Kinerja HRAR Proses <i>Batch</i>	50
3.3.3. Penelitian Sistim HRAR Aliran Kontinyu Untuk Penurunan	54

Konsentrasi COD, N Dan P Air Limbah Boezem Morokrempangan	
3.3.4. Penambahan Bakteri pada sistim HRAR Aliran Kontinyu Untuk penurunan Detergen pada Air Limbah Domestik Perkotaan	58
3.4. Evaluasi dan Aplikasi Data Penelitian pada Pengembangan Remediasi Boezem sebagai Sistim HRAP	61
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	63
4.1. Penelitian Lapangan: Kinerja Boezem Moro Krempangan	63
4.1.1. Kondisi Fisik Boezem	63
4.1.2. Hasil Penelitian lapangan ke 1	65
4.1.3. Hasil Penelitian Lapangan Ke 2	72
4.1.3.1. Profil Konsentrasi Oksigen Terlarut (DO)	76
4.1.3.2. Dominasi Spesies Alga pada Boezem Morokrempangan Bagian Selatan	78
4.1.4. Penelitian Lapangan Ke 3	84
4.1.5. Penelitian Lapangan Ke 4	86
4.1.6. Kelayakan kualitas Air Limbah Influen Boezem untuk Tumbuh Kembang Sistem Alga-Bakteri	88
4.1.7. Kinerja Boezem Morokrempangan Sisi Selatan	90
4.1.8. Kesimpulan Penelitian Lapangan Terkait Kinerja Boezem Morokrempangan Sisi Selatan	94
4.2. Penelitian Skala Laboratorium, Pengaruh Faktor Lingkungan pada Kinerja Sistem Alga-Bakteri	95
4.2.1. Penelitian Kinerja Sistim Alga-Bakteri pada HRAP Proses <i>Batch</i> .	95
4.2.1.1. Pengaruh Durasi Pencahayaayan dan Kedalaman Air pada Kinerja Sistem HRAP	99
4.2.1.2. Pengaruh aerasi pada kinerja HRAP proses <i>batch</i>	111
4.2.1.3. Analisis Biokinetika sistim HRAR Proses Batch pada Kondisi Salinitas, pH	113
4.2.1.4. Analisis kemampuan HRAR pada Penyerapan Karbon Dioksida (CO ₂)	120
4.2.1.5. Kesimpulan Penelitian HRAR Proses <i>Batch</i>	120
4.2.2. Kinerja sistim HRAR aliran kontinyu untuk pengolahan air limbah dari Boezem Morokrempangan.	121
4.2.2.1. Kinerja sistim alga-bakteri untuk penurunan COD	122
4.2.2.2. Penurunan N-NH ₃ dan N-NO ₃ dalam HRAR	127
4.2.2.3. Penurunan Fosfat dalam HRAR	131
4.2.2.4. Ketersediaan Oksigen Terlarut dalam sistim HRAR	132
4.2.3. Efek penambahan Bakteri pada sistim HRAR Aliran Kontinyu Untuk penurunan detergen pada Air Limbah Domestik Perkotaan.	135
4.2.3.1. Efek penambahan Bakteri pada Koefisien Biokinetik Sistem Alga-Bakteri	139
4.2.3.2 Kesimpulan Penelitian HRAR dengan Aliran Kontinyu	140

dan Pencahayaan Secara Alamiah	
4.3. Analisis Kelayakan Sistem Alga-Bakteri untuk Pemulihan Kualitas Air Limbah di Boezem Morokrembangan	141
4.3.1. Aplikasi Sistem Alga-Bakteri pada Pemulihan Boezem Morokrembangan	143
4.3.2. Evaluasi Pemulihan Boezem dengan Pendekatan Biokinetik	144
4.3.3. Strategi Pengelolaan untuk Pemulihan Boezem Morokrembangan Sisi Selatan	147
4.3.3.1. Pengendalian Laju Pendangkalan	147
4.3.3.2. Analisis Penyerapan CO ₂ dan Suplai Oksigen Terlarut oleh Alga	151
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	155
5.1. Kesimpulan.	155
5.2. Saran Penelitian Lanjutan	157
DAFTAR PUSTAKA	159
LAMPIRAN	177



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Kimia Air Limbah Domestik Perkotaan	10
Tabel 2.2	Baku Mutu Kualitas Badan Air Kelas IV	11
Tabel 2.3	Klasifikasi Alga Berdasarkan Pigmen	18
Tabel 2.4	Kebutuhan Unsur Kimia dan Nutrien dalam Sel Alga	19
Tabel 3.1	Konsentrasi COD dan Nutrien yang digunakan dalam Pelaksanaan penelitian	52
Tabel 3.2	Pembagian Waktu Pelaksanaan Penelitian Proses <i>Batch</i>	53
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran Debit Air masuk ke Boezem Morokrengan Sisi Selatan (13 April dan 12 Mei 2010)	66
Tabel 4.2	Hasil Penelitian rasio BOD ₅ /COD pada Influen Boezem Morokrengan	67
Tabel 4.3	Hasil Penelitian Kemampuan Penyisihan Parameter Pencemar pada Boezem Morokrengan Selatan	68
Tabel 4.4	Hasil Penelitian Kemampuan Penyisihan Beban Pencemar pada Boezem Morokrengan Sisi Selatan	69
Tabel 4.5	Hasil Pengukuran Debit Air yang Masuk dan Keluar Boezem, (Bulan Agustus dan Oktober tahun 2011)	72
Tabel 4.6	Hasil Pengukuran Kinerja ke Boezem Morokrengan Sisi Selatan tahun 2011	75
Tabel 4.7	Hasil Pengukuran Kinerja ke Boezem Morokrengan Sisi Selatan tahun 2011 Berbasis Beban Pencemar	77
Tabel 4.8	Nilai Indeks Diversitas Shannon-Wiener	83
Tabel 4.9	Hasil Pengukuran Kualitas Air Kali Grege pada Boezem	85
Tabel 4.10	Hasil penelitian lapangan kinerja Boezem Morokrengan tahun 2014	87
Tabel 4.11	Nilai rerata parameter pencemar di inlet Boezem Morokrengan dari Hilir Kali Grege	89
Tabel 4.12	Laju Akumulasi <i>Total Solid</i> atau Sedimen Dasar (Ton TS/hari)	93
Tabel 4.13	Komparasi Kinerja Boezem tahun 2010, 2011 dan 2014.	93
Tabel 4.14	Hasil Penelitian Pendahuluan Respon Sistem Alga pada berbagai Konsentrasi COD dengan waktu kontak 3 Hari.	98
Tabel 4.15	Kinerja HRAR untuk Penurunan Konsentrasi COD dengan Variasi Kedalaman Air dan HRT 4 hari	100
Tabel 4.16	Peningkatan Konsentrasi Rerata MLSS, mg/L dan Alga diukur Sebagai Klorophil-a Percobaan Secara Proses <i>Batch</i>	103
Tabel 4.17	Efisiensi Penurunan Konsentrasi P-PO ₄ , mg/L Percobaan Secara Proses <i>Batch</i>	105
Tabel 4.18	Efisiensi Penurunan Konsentrasi N-NH ₃ , mg/L Percobaan Secara Proses <i>Batch</i>	107
Tabel 4.19	Nilai Rerata Perubahan Konsentrasi N-NO ₃ , mg/L Percobaan Secara Proses <i>Batch</i>	109
Tabel 4.20	Profil Konsentrasi Oksigen Terlarut pada Sistem HRAR dengan 5 Percobaan Ulangan	112

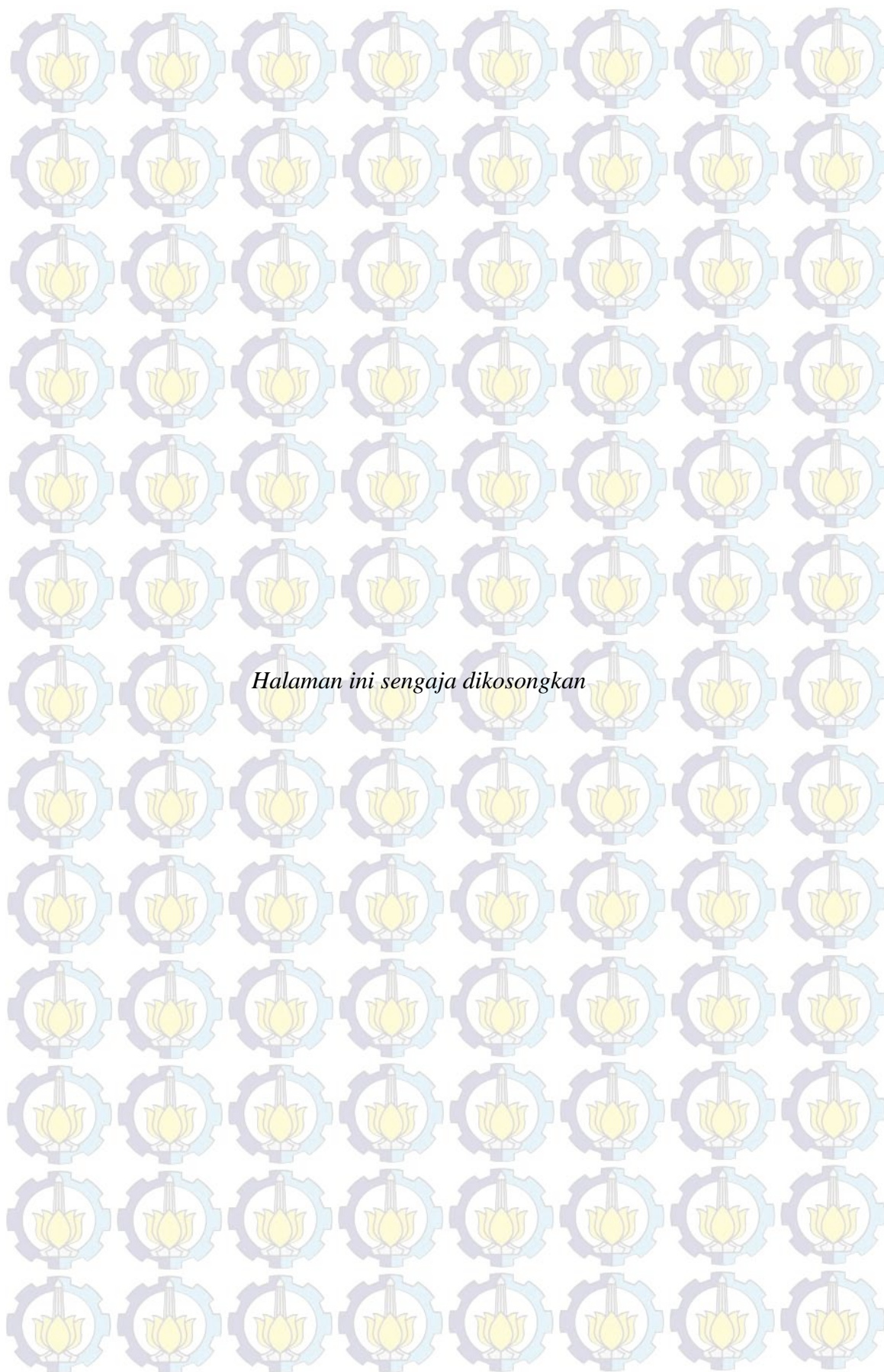
Tabel 4.21	Efek Aerasi pada Kinerja Sistem HRAR Proses <i>Batch</i> dengan 5 Percobaan Ulangan	112
Tabel 4.22	Nilai Salinitas Air Boezem (ppt) pada Musim Hujan dan Kemarau	113
Tabel 4.23	Nilai laju Pertumbuhan Spesifik pada HRAR Kontrol	115
Tabel 4.24	Nilai Laju Pertumbuhan Spesifik Rerata pada Beberapa Salinitas	115
Tabel 4.25	Nilai μ_{max} dan K_s pada Berbagai Variasi Salinitas	118
Tabel 4.26	Nilai Y dan kd berbasis VSS pada Berbagai Salinitas	118
Tabel 4.27	Pengaruh Salinitas pada Kemampuan Penyisihan COD dan Nutrien Sistem Alga-Bakteri	119
Tabel 4.28	Penyisihan COD pada HRAR Aliran Kontinyu	124
Tabel 4.29	Rerata Nilai DO pada HRAR Aliran Kontinyu	125
Tabel 4.30	Rasio Alga/ MLSS pada Penelitian HRAR Aliran Kontinyu	127
Tabel 4.31	Perubahan Konsentrasi Nitrat pada HRAR Aliran Kontinyu	130
Tabel 4.32	Penyisihan Konsentrasi N-NH ₃ pada HRAR Aliran Kontinyu	130
Tabel 4.33	Hasil Analisis Konsentrasi Phosphat (mg/L) pada Operasional HRAR	132
Tabel 4.34	Korelasi Konsentrasi DO dan Klorofil – a dalam HRAR	133
Tabel 4.35	Rasio Alga/Bakteri pada HRAR dengan Penambahan Kultur Bakteri	134

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Identifikasi Permasalahan dan Solusi dalam Penelitian	6
Gambar 2.1	Ilustrasi Simbiosis Alga–Bakteri	11
Gambar 2.2	Reaksi Metabolism dalam Sel Alga	20
Gambar 2.3	Hubungan antara Kedalaman Kolam dan Produktivitas Alga pada Sistim Raceway	21
Gambar 2.4	Siklus Nitrogen dalam Sistem HRAP	23
Gambar 2.5	Kesetimbangan pH dan Carbon Inorganik dalam Air Permukaan	24
Gambar 2.6	Grafik NH_3 dan NH_4^+ Fungsi pH	25
Gambar 2.7	Grafik Pertumbuhan Mikroorganisme	27
Gambar 2.8	Bioreaktor Model Oxydation Ditch	34
Gambar 3.1	Detail Rancangan Penelitian Disertasi	38
Gambar 3.2	Lokasi Pengambilan Contoh Air untuk Pengukuran Kualitas Air	40
Gambar 3.3	Titik Pengambilan Contoh untuk Penelitian Dominasi Mikroalga	43
Gambar 3.4	Pelaksanaan Percobaan Pendahuluan dengan Variasi Konsentrasi dan Kedalaman Air.	46
Gambar 3.5	Sketsa Reaktor dan Bioreaktor dalam Percobaan Pendahuluan	48
Gambar 3.6	Ilutrase Foto Pelaksanaan Penelitian	53
Gambar 3.7	Rancangam Reaktor Percobaan Sistem HRAR	57
Gambar 3.8	Contoh Ekstrak Bakteri untuk Penelitian	59
Gambar 3.9	Ilustrasi Penelitian HRAR Aliran Kontinyu ke 2	59
Gambar 3.10	Desain dan Pelaksanaan Percobaan HRAR Aliran Kontinyu ke 2	60
Gambar 4.1	Kondisi Boezem Morokrembangan Sisi Selatan saat penuh Air, saat Musim Hujan dan Paska Pengerukan.	64
Gambar 4.2	Pengamatan Visual Pola Aliran Air di Boezem Morokrembangan Sisi Selatan.	65
Gambar 4.3	Photo Timbulan Sedimen pada Boezem Morokrembangan Sisi Selatan	71
Gambar 4.4	Pemetaan Pencemar saat Musim Kemarau, 2011	73
Gambar 4.5	Pemetaan Konsentrasi pada saat Musim Hujan, 2011	74
Gambar 4.6	Pemetaan Konsentrasi DO dan Parameter lain saat Kemarau, 2011	79
Gambar 4.7	Pemetaan Konsentrasi DO dan Parameter lain saat Hujan, 2011	79
Gambar 4.8	Titik Pengambilan Sampel untuk Observasi Jenis Alga	80
Gambar 4.9	Pengambilan Contoh Alga di Boezem Morokrembangan	81
Gambar 4.10	Perbandingan Indeks Diversitas Alga pada Boezem Morokrembangan Sisi Selatan	83
Gambar 4.11	Photo Ledakan Tumbuhan Gulma Air di Boezem	90

	Morokrembangan Sisi Selatan, tahun 2009 dan 2012.	
Gambar 4.12	Ilustrasi Proses Sistem Biologi dalam Boezem	91
Gambar 4.13	Hasil Pembenuhan dan Aklimatisasi Alga	96
Gambar 4.14	Hasil Penelitian Pendahuluan penurunan COD pada HRAR	97
Gambar 4.15	Profil Pertumbuhan Alga pada Penelitian Pendahuluan	98
Gambar 4.16	Grafik Perubahan Konsentrasi COD pada HRAR Proses <i>Batch</i> , dengan Variasi Waktu Pencahayaan dan Kedalam Air	101
Gambar 4.17	Grafik Pertambahan Konsentrasi MLSS pada HRAR Proses <i>Batch</i> , dengan Variasi Waktu Pencahayaan dan Kedalam Air	102
Gambar 4.18	Grafik Peningkatan Konsentrasi Alga sebagai Klorophil-a dengan Variasi Waktu Pencahayaan	102
Gambar 4.19	Efek Perubahan Intensitas Cahaya pada Pertumbuhan Alga dalam HRAR Proses <i>Batch</i> .	104
Gambar 4.20	Grafik Perubahan Konsentrasi P-PO ₄ dengan 5 Ulangan pada HRAR Proses <i>Batch</i> dengan Variasi Durasi Pencahayaan dan Kedalaman Air.	106
Gambar 4.21	Grafik Perubahan Konsentrasi N-NH ₃ dengan 5 Ulangan pada HRAR Proses <i>Batch</i> dengan Variasi Durasi Pencahayaan dan Kedalaman Air	108
Gambar 4.22	Grafik Perubahan Konsentrasi N-NO ₃ dengan 5 Ulangan pada HRAR Proses <i>Batch</i> dengan Variasi Durasi Pencahayaan dan Kedalaman Air	108
Gambar 4.23	Analisis Laju Pertumbuhan Spesifik Berbasis VSS pada HRAR Kontrol	116
Gambar 4.24	Hubungan t (hari) dengan Ln X (Klorophil- a) Reaktor Kontrol	116
Gambar 4.25	Contoh Penentuan K _s dan μ_{\max} , HRAR pH 4,5; Salinitas 0,8 ppt	117
Gambar 4.26	Unit Eksperimen Penelitian dengan Aliran Kontinyu	122
Gambar 4.27	Profil [COD] pada HRAR Aliran Kontinyu	123
Gambar 4.28	Perubahan MLSS pada operasi HRAR Aliran Kontinyu	125
Gambar 4.29	Hasil Monitoring [Klorofil-a] selama pengoperasian HRAR	126
Gambar 4.30	Korelasi antara Konsentrasi Ammonia dan Nitrat Siang Hari	128
Gambar 4.31	Korelasi antara Konsentrasi Ammonia dan Nitrat Malam Hari	129
Gambar 4.32	Profil Konsentrasi Fosfat dan Klorophil-a saat Siang Hari	131
Gambar 4.33	Profil Konsentrasi DO dalam HRAR aliran kontinyu	133
Gambar 4.34	Hasil Monitoring Konsentrasi Detergen pada Efluen HRAR dengan Penambahan Kultur Bakteri 200 mL	135
Gambar 4.35	Hasil Monitoring Konsentrasi Detergen pada Efluen HRAR dengan Penambahan Kultur Bakteri 400 mL	136
Gambar 4.36	Efek Penambahan Bakteri dalam Sistem Alga-Bakteri pada Laju Penurunan Detergen	137
Gambar 4.37	Efek Penambahan Bakteri dalam Sistem Alga-Bakteri pada	138

	Laju Penurunan COD	
Gambar 4.38	Efek Penambahan Bakteri pada Kinerja Sistem Alga-Bakteri	138
Gambar 4.39	Kemampuan Penurunan Detergen dan COD pada Berbagai rasio Alga/Bakteri	139
Gambar 4.40	Analisis nilai Y dan k_d pada Sistem Alga-Bakteri dengan Penambahan Kultur Bakteri	140
Gambar 4.41	Simulasi Kinerja Boezem sebagai HRAP Berdasar Data Penelitian Lapangan dan Laboratorium	144
Gambar 4.42	Simulasi Aplikasi Koefisien Biokinetik Sistem Alga – Bakteri pada Kemampuan Pemulihan Boezem.	145
Gambar 4.43	Simulasi Kebutuhan Biomassa Aktif pada Boezem dengan Model Bioreaksi Orde Satu.	146
Gambar 4.44	Rekasaya Teknik Pengendalian Sedimentasi dalam Boezem	148
Gambar 4.45	Profil Tanaman Eceng Gondok dengan sistem perakarannya	149
Gambar 4.46	Ilustrasi Posisi Rekasaya Pengendali Sedimen, Unit <i>Surface Aerator</i> dalam Boezem.	151
Gambar 4.47	Contoh <i>Paddle Wheel Aerator</i>	153
Gambar L.1	Penentuan nilai laju pertumbuhan spesifik (a) biomassa sebagai MLVSS dan (b) alga (klorofil), pH 4,5 dan Salinitas 0,8 ppt	244
Gambar L.2	Penentuan nilai Laju pertumbuhan spesifik biomassa, (a) sebagai MLVSS dan (b) alga (klorofil), pH 6 dan salinitas 0,8 ppt	248
Gambar L.3	Penentuan nilai Laju pertumbuhan spesifik biomassa sebagai (a) MLVSS dan (b) alga pH 9 dan salinitas 0,8 ppt	232
Gambar L.4	Penentuan nilai Laju pertumbuhan spesifik biomassa sebagai (a) MLVSS dan (b) alga pH 4,5 dan salinitas 1,5 ppt	236
Gambar L.5	Penentuan nilai Laju pertumbuhan spesifik biomassa sebagai (a) MLVSS dan (b) alga pH 6 dan salinitas 1,5 ppt	240
Gambar L.6	Penentuan nilai Laju pertumbuhan spesifik biomassa sebagai MLVSS dan alga pH 9,0 dan salinitas 1,5 ppt	244
Gambar L.7	Penentuan nilai Laju pertumbuhan spesifik biomassa sebagai MLVSS dan alga pH pada HRAR Kontrol	246
Gambar L.8	Penentuan μ_{maks} dan K_s , pH 4,5 pada salinitas berbeda	252
Gambar L.9	Penentuan μ_{maks} dan K_s , pH 6,0 pada salinitas berbeda	253
Gambar L.10	Penentuan μ_{maks} dan K_s , pH 9,0 pada salinitas berbeda	254
Gambar L.11	Penentuan koefisien Biokinetik Y dan k_d pada pH 4,5; salinitas 0,8 dan 1,5ppt	257
Gambar L.12	Penentuan koefisien Biokinetik Y dan k_d pada pH 6; salinitas 0,8 dan 1,5pp	258
Gambar L.13	Penentuan koefisien Biokinetik Y dan k_d pada pH 9; salinitas 0,8 dan 1,5ppt	259



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Kimia Air Limbah Domestik Perkotaan	10
Tabel 2.2	Baku Mutu Kualitas Badan Air Kelas IV	11
Tabel 2.3	Klasifikasi Alga Berdasarkan Pigmen	18
Tabel 2.4	Kebutuhan Unsur Kimia dan Nutrien dalam Sel Alga	19
Tabel 3.1	Konsentrasi COD dan Nutrien yang digunakan dalam Pelaksanaan penelitian	52
Tabel 3.2	Pembagian Waktu Pelaksanaan Penelitian Proses <i>Batch</i>	53
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran Debit Air masuk ke Boezem Morokrengan Sisi Selatan (13 April dan 12 Mei 2010)	66
Tabel 4.2	Hasil Penelitian rasio BOD ₅ /COD pada Influen Boezem Morokrengan	67
Tabel 4.3	Hasil Penelitian Kemampuan Penyisihan Parameter Pencemar pada Boezem Morokrengan Selatan	68
Tabel 4.4	Hasil Penelitian Kemampuan Penyisihan Beban Pencemar pada Boezem Morokrengan Sisi Selatan	69
Tabel 4.5	Hasil Pengukuran Debit Air yang Masuk dan Keluar Boezem, (Bulan Agustus dan Oktober tahun 2011)	72
Tabel 4.6	Hasil Pengukuran Kinerja ke Boezem Morokrengan Sisi Selatan tahun 2011	75
Tabel 4.7	Hasil Pengukuran Kinerja ke Boezem Morokrengan Sisi Selatan tahun 2011 Berbasis Beban Pencemar	77
Tabel 4.8	Nilai Indeks Diversitas Shannon-Wiener	83
Tabel 4.9	Hasil Pengukuran Kualitas Air Kali Grege pada Boezem	85
Tabel 4.10	Hasil penelitian lapangan kinerja Boezem Morokrengan tahun 2014	87
Tabel 4.11	Nilai rerata parameter pencemar di inlet Boezem Morokrengan dari Hilir Kali Grege	89
Tabel 4.12	Laju Akumulasi <i>Total Solid</i> atau Sedimen Dasar (Ton TS/hari)	93
Tabel 4.13	Komparasi Kinerja Boezem tahun 2010,2011 dan 2014.	93
Tabel 4.14.	Hasil Penelitian Pendahuluan Respon Sistim Alga pada berbagai Konsentrasi COD dengan waktu kontak 3 Hari.	98
Tabel 4.15	Kinerja HRAR untuk Penurunan Konsentrasi COD dengan Variasi Kedalaman Air dan HRT 4 hari	100
Tabel 4.16	Peningkatan Konsentrasi Rerata MLSS, mg/L dan Alga diukur Sebagai Klorophil-a Percobaan Secara Proses <i>Batch</i>	103
Tabel 4.17	Efisiensi Penurunan Konsentrasi P-PO ₄ , mg/L Percobaan Secara Proses <i>Batch</i>	105
Tabel 4.18	Efisiensi Penurunan Konsentrasi N-NH ₃ , mg/L Percobaan Secara Proses <i>Batch</i>	107
Tabel 4.19	Nilai Rerata Perubahan Konsentrasi N-NO ₃ , mg/L Percobaan Secara Proses <i>Batch</i>	109
Tabel 4.20	Profil Konsentrasi Oksigen Terlarut pada Sistem HRAR	112

	dengan 5 Percobaan Ulangan	
Tabel 4.21	Efek Aerasi pada Kinerja Sistem HRAR Proses <i>Batch</i> dengan 5 Percobaan Ulangan	112
Tabel 4.22	Nilai Salinitas Air Boezem (ppt) pada Musim Hujan dan Kemarau	113
Tabel 4.23	Nilai laju Pertumbuhan Spesifik pada HRAR Kontrol	115
Tabel 4.24	Nilai Laju Pertumbuhan Spesifik Rerata pada Beberapa Salinitas	115
Tabel 4.25	Nilai μ_{max} dan Ks pada Berbagai Variasi Salinitas	118
Tabel 4.26	Nilai Y dan kd berbasis VSS pada Berbagai Salinitas	118
Tabel 4.27	Pengaruh Salinitas pada Kemampuan Penyisihan COD dan Nutrien Sistem Alga-Bakteri	119
Tabel 4.28	Penyisihan COD pada HRAR Aliran Kontinyu	124
Tabel 4.29	Rerata Nilai DO pada HRAR Aliran Kontinyu	125
Tabel 4.30	Rasio Alga/ MLSS pada Penelitian HRAR Aliran Kontinyu	127
Tabel 4.31	Perubahan Konsentrasi Nitrat pada HRAR Aliran Kontinyu	130
Tabel 4.32	Penyisihan Konsentrasi N-NH ₃ pada HRAR Aliran Kontinyu	130
Tabel 4.33	Hasil Analisis Konsentrasi Phosphat (mg/L) pada Operasional HRAR	132
Tabel 4.34	Korelasi Konsentrasi DO dan Klorofil – a dalam HRAR	133
Tabel 4.35	Rasio Alga/Bakteri pada HRAR dengan Penambahan Kultur Bakteri	134

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kota Surabaya dengan jumlah penduduk mencapai 2.821.929 Jiwa (BPS Kota Surabaya, 2015) telah menghasilkan air limbah permukiman yang sangat besar. Air limbah permukiman berasal dari kegiatan MCK (mandi, cuci dan kakus), aktivitas komersial termasuk industri rumah tangga. Saat ini, semua air limbah permukiman umumnya dibuang langsung ke saluran drainase dan sungai tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Kota Surabaya, idealnya telah mempunyai Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestik secara terpusat sebagai upaya pengelolaan kualitas lingkungan kota. IPAL individual dan komunal untuk MCK telah dibangun di beberapa RT/RW dan tersebar pada beberapa Kelurahan di wilayah Kota Surabaya. IPAL dibangun oleh Pemerintah Pusat, Pemerintah Kota Surabaya maupun *Community Social Responsibility* (CSR) dari perusahaan BUMN, Anonim, (2014).

Pembuangan air limbah permukiman tanpa pengolahan telah menimbulkan pencemaran yang akut dan pendangkalan pada saluran drainase perkotaan dan embung (Boezem). Kota Surabaya memiliki beberapa Boezem yang berfungsi sebagai pengendali banjir saat musim hujan, namun juga berfungsi menampung air limbah. Salah satu Boezem yang terbesar di Kota Surabaya adalah Boezem Morokrembangan. Boezem ini memiliki area pelayanan kurang lebih 25 % dari wilayah Kota Surabaya. Boezem mudah mengalami pendangkalan akibat beban pencemaran air limbah permukiman dari Kali Greges dan Kali Purwodadi. Kedua sungai ini telah ditetapkan sebagai Badan Air Kelas IV PP no.82/2001 tertuang dalam PERDA Kota Surabaya No. 02 Tahun 2004. Karakteristik air limbah domestik di Kali Greges dan Kali Purwodadi memiliki kandungan zat padat dan tersuspensi yang tinggi (Hasriyani dan Christian, 2010). Material padatan dan

tersuspensi dalam air limbah influen Boezem akan mengalami pengendapan, dan terakumulasi sebagai lumpur organik. Air limbah domestik perkotaan juga dimungkinkan mengandung senyawa – senyawa phenol dan detergent yang bersifat toksik terhadap biota air.

Senyawa organik dan nutrisi (nitrogen dan fosfat) dalam badan air permukaan merupakan komponen penting untuk pertumbuhan alga dan bakteri. Oswald *et al.*, (1957) menyatakan alga memiliki peran vital dalam pemulihan diri (*self purification*) badan air permukaan. Pada siang hari, alga berfotosintesis dan memproduksi oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri aerob. Selanjutnya, bakteri aerob memanfaatkan oksigen untuk mengonsumsi senyawa organik dengan hasil samping senyawa karbon dioksida (CO_2). Senyawa CO_2 terlarut merupakan sumber karbon bagi alga (Oswald *et al.*, 1957; Buhr dan Miller, 1983). Studi pemanfaatan alga untuk pengolahan air limbah domestik telah banyak dilakukan (Chang *et al.*, 2010). *High Rate Algae Pond* (HRAP) telah banyak dikembangkan untuk pengolahan air limbah domestik (Mihalyfalvy *et al.*, 1998). Kelebihan sistem HRAP, metode sederhana, biaya ekonomis dengan kemampuan reduksi BOD dan nutrisi sangat baik. Sistem pencampuran (*mixing*) dalam HRAP memiliki peranan penting untuk mempertahankan kinerja sistem alga - bakteri. Penambahan aerasi pada sistem alga – bakteri, dapat meningkatkan penurunan BOD sampai 94% (Azov dan Shelef, 1982). Penelitian Bich *et al.*, (1998) menunjukkan kemampuan asimilasi Nitrogen (N) oleh alga sekitar 65% dari total penurunan kadar N. Sisanya lepas karena proses volatilisasi sebagai ammonia sebesar 15 % dan 20% akibat proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Beberapa hasil penelitian menjelaskan bahwa produktivitas alga dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungannya (Azov dan Shelef 1982; Garcia *et al.*, 2000). Faktor tersebut antara lain karbon inorganik dan Nutrien, pencahayaan, toksisitas substrat, waktu retensi, kekeruhan air limbah, dan kadar oksigen terlarut. CO_2 untuk pertumbuhan alga dapat berasal dari proses biodegradasi senyawa organik dan penyerapan CO_2 dari udara. Ekosistem mikroalga berperan penting dalam penyerapan gas CO_2 dan salah satu penyumbang oksigen terbesar di atmosfer (Setiawan *et al.*, 2008). Pengembangan kultur fitoplankton dalam

photobioreaktor (PBR) mempunyai kemampuan untuk mengolah limbah cair dari industri susu (Santoso *et al.*, 2011). Penelitian kemampuan serapan alga terhadap gas CO₂ dalam skala laboratorium telah dilakukan oleh Team BPPT (Santoso *et al.*, 2011). Hasil penelitian membuktikan bahwa injeksi gas CO₂ PBR mampu meningkatkan populasi alga.

Secara alamiah, Boezem memiliki kemampuan untuk pemulihan diri dalam menurunkan kandungan zat pencemar yang masuk ke dalamnya. Pada kasus beberapa Boezem di Kota Surabaya, secara fisik nampak bahwa kemampuan pemulihan diri badan air telah terlampaui. Hal ini disebabkan oleh besarnya beban pencemar yang diterima secara terus menerus setiap hari. Dampak pembuangan air limbah domestik telah menyebabkan pendangkalan dan terjadi pembusukan badan air saat musim kemarau. Pembusukan anaerob akan menghasilkan gas CH₄, CO₂ yang merupakan komponen gas rumah kaca dan gas H₂S (Metcalf & Eddy, 2003). Pemulihan Boezem menggunakan sistem alga - bakteri diharapkan dapat berkontribusi pada pengendalian pencemaran air dan reduksi emisi CO₂ ke atmosfer. Penelitian sistem alga - bakteri dengan kultur murni, telah banyak dikembangkan dalam skala laboratorium untuk pengolahan air limbah. Aplikasi sistem alga - bakteri bersifat spesifik, dominasi spesies alga sangat dipengaruhi oleh karakteristik air limbah, iklim dan suhu udara ambien. Pemanfaatan sistem alga-bakteri untuk pemulihan badan air tercemar limbah domestik di Indonesia belum banyak dilakukan (Santoso *et al.*, 2011). Oleh karenanya, penelitian pemanfaatan alga - bakteri untuk pemulihan Boezem Morokrembangan sangat penting dilakukan. Penelitian, tidak hanya berkontribusi pada upaya pemulihan Boezem, namun akan berfungsi sebagai bagian dari mitigasi pemanasan global. Mitigasi terjadi melalui penyerapan gas CO₂ hasil proses biodegradasi dan menekan kondisi septik badan air akibat produksi oksigen oleh alga. Selain itu, proses pemulihan akan menghasilkan biomassa alga dengan kandungan protein dapat dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi perikanan dan peternakan. Hasil penelitian, layak diterapkan untuk pemulihan badan air permukaan lain yang tercemar air limbah perkotaan dengan memanfaatkan

ekosistem setempat. Sistem alga - bakteri juga memiliki keunggulan, mudah dioperasikan dengan biaya relatif murah.

1.2. Perumusan Masalah

Kota Surabaya memiliki beberapa Boezem dengan luasan dan volume cukup besar, berfungsi sebagai pengendali banjir dan penampung air limbah perkotaan. Semua Boezem, telah kehilangan kemampuan pemulihan diri, sehingga kualitas airnya tidak sesuai dengan kelas peruntukkannya. Oleh karena itu diperlukan pencarian terobosan metoda pengolahan yang mudah, murah, efisien dan efektif. Pemulihan kualitas air dapat dilakukan dengan pemanfaatan ekosistem setempat, agar Boezem dapat memenuhi Baku Mutu yang ditetapkan. Sistem alga - bakteri yang merupakan bagian ekosistem badan air setempat layak dikaji untuk pemulihan kualitas air limbah dalam Boezem. Boezem Morokrembangan digunakan sebagai obyek kajian penelitian disertasi, karena berfungsi ganda sebagai pengendali banjir dan penerima air limbah domestik perkotaan. Luas Boezem sisi selatan $\pm 37,6$ Ha dengan area pelayanan ± 25 % wilayah kota Surabaya. Sehingga layak dikaji untuk dimanfaatkan sebagai sarana pengolahan air limbahn yang diterimanya.

HRAP merupakan sistem pengolahan air limbah yang memanfaatkan simbiosis alga – bakteri dan memerlukan beberapa kondisi operasional. Oleh karenanya, diperlukan kajian kelayakan penerapan sesuai karakteristik air limbah dan kondisi fisik Boezem. Chang *et al.*, (2010), menyatakan waktu detensi dan *mixing regime* sangat menentukan target efisiensi pengolahan air limbah dengan sistem HRAP. Dalam studi tersebut dinyatakan waktu detensi minimum untuk sistem HRAP 2 hari, sedang Polprasert (1996), menyatakan HRT minimum 1,5 hari. Kajian awal menunjukkan waktu detensi air dalam Boezem Morokrembangan sisi Selatan tanpa air hujan berada pada kisaran 0,5 – 1,5 hari. Penelitian skala laboratorium dengan berbagai variabel dilakukan untuk memperoleh data perencanaan dan kinerja sistem alga – bakteri dalam mengolah air limbah perkotaan di Boezem. Selanjutnya, hasil penelitian skala laboratorium dan data lapangan dipergunakan untuk mengkaji kemampuan pemulihan Boezem

dan mencari alternatif metode operasional. Konsep berfikir untuk menjawab permasalahan yang diidentifikasi dijelaskan pada Gambar 1.1.

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1. Tujuan Penelitian

Tujuan utama penelitian adalah mengkaji kinerja sistem alga - bakteri untuk peningkatan kemampuan pemulihan diri Boezem Morokrembangan terhadap beban pencemar yang diterimanya.

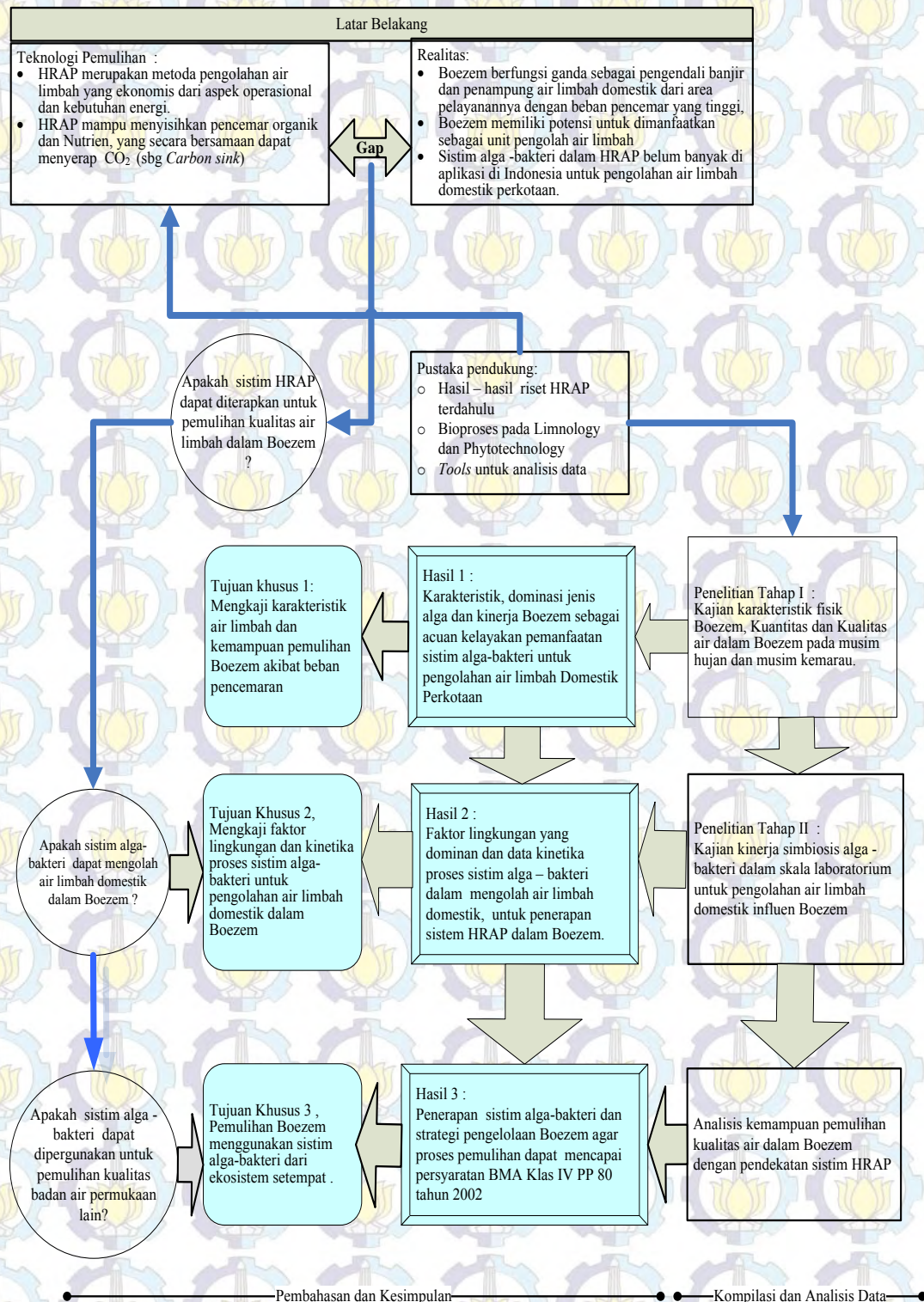
Adapun secara khusus tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengkaji karakteristik air limbah domestik dan kinerja Boezem akibat beban pencemaran dari area pelayanannya.
2. Mengkaji pengaruh faktor lingkungan pada kinerja dan kinetika proses sistem alga - bakteri untuk pengolahan air limbah domestik perkotaan pada Boezem Morokrembangan.
3. Mengkaji kemampuan pemulihan Boezem Morokrembangan sisi Selatan menggunakan sistem alga-bakteri dengan ekosistem setempat untuk mencapai BMA Klas IV.

1.3.2. Manfaat Penelitian

Penelitian sistem alga - bakteri untuk pengolahan air limbah domestik penting dilakukan sebagai upaya pemulihan secara *in situ* pada badan air permukaan tercemar. Boezem Morokrembangan dipilih sebagai obyek penelitian, karena berfungsi ganda sebagai penampung air hujan dan air limbah domestik dari "Catchment Area" nya. Dalam *bidang Pengembangan ilmu*, hasil penelitian dapat melengkapi metode pemulihan air permukaan tercemar air limbah domestik dengan memanfaatkan ekosistem setempat. Hal yang tidak kalah penting adalah

sistem alga - bakteri disamping sebagai pemulih badan air tercemar sekaligus sebagai bagian mitigasi pemanasan global di wilayah perkotaan.

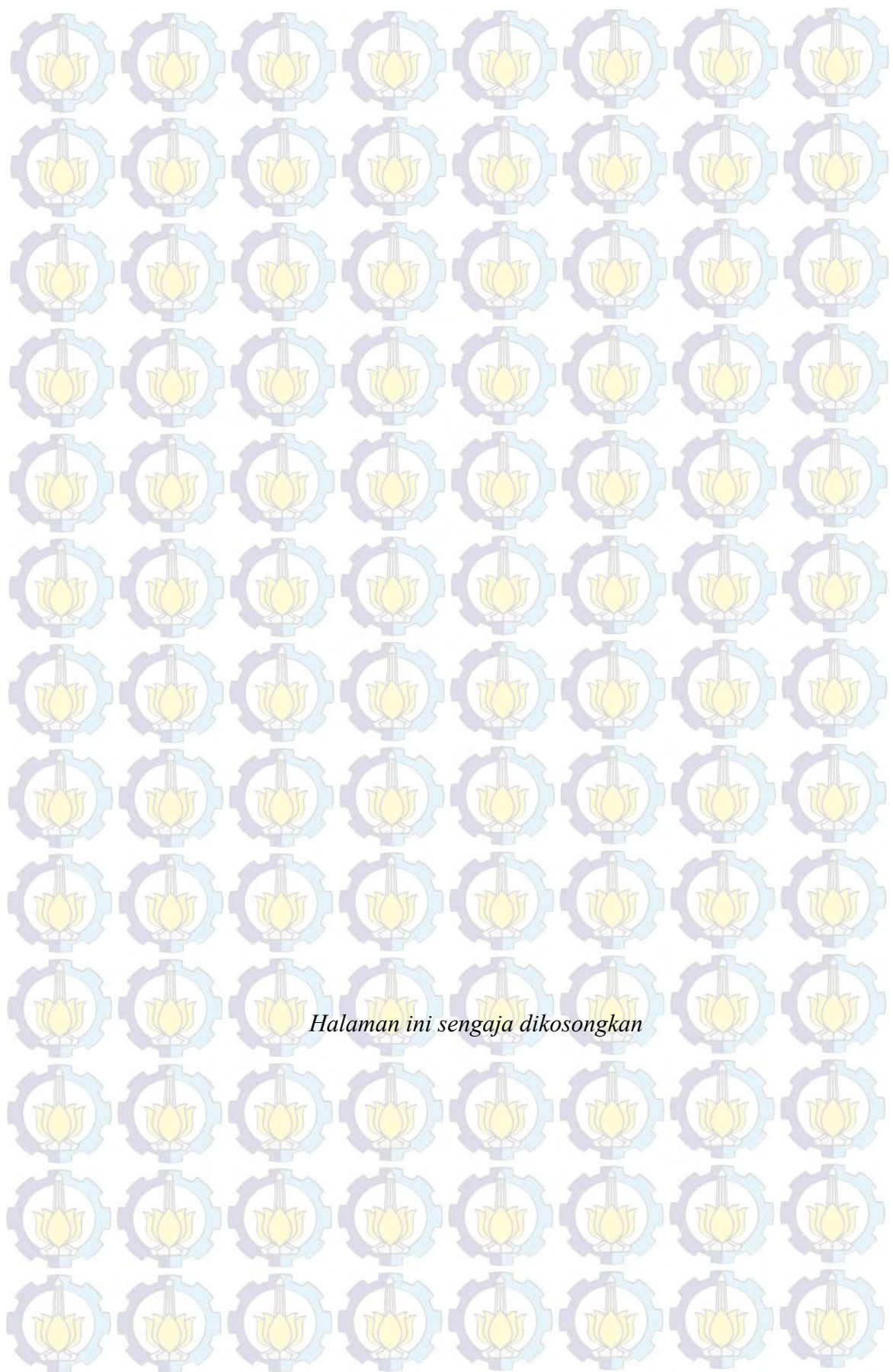


Gambar 1.1 Identifikasi Permasalahan dan Solusi dalam Penelitian

1.4. Originalitas penelitian ini adalah:

Beberapa argumentasi yang menyatakan originalitas penelitian disertasi antara lain :

1. Boezem Morokrembangan berfungsi ganda, sebagai pengendali banjir dan penampung air limbah domestik dari area pelayanannya. Kajian kemampuan sistem alga – bakteri dari ekosistem setempat untuk pengolahan air limbah domestik dalam Boezem Morokrembangan belum pernah dilakukan.
2. Kajian kinerja dan dominasi spesies alga dalam Boezem akibat beban pencemaran air limbah domestik perkotaan.
3. Pemanfaatan sistem alga – bakteri dari ekosistem setempat beserta kinetika proses untuk pengolahan air limbah domestik perkotaan.
4. Kemampuan pemulihan Boezem terhadap beban pencemar maksimum agar memenuhi BMA klas IV sesuai PP no 82 tahun 2001.
5. Penetapan strategi pengelolaan dalam Boezem untuk pengolahan air limbah domestik yang diterima dengan sistem alga-bakteri dari ekosistem setempat.
6. Sistem alga – bakteri berfungsi ganda, mampu memulihkan kualitas air limbah sekaligus menyerap senyawa CO₂ hasil proses biodegradasi. Kemampuan memulihkan air limbah domestik dalam Boezem dan menyerap senyawa CO₂ pada sistem secara bersamaan merupakan keunikan (*uniqueness*) penelitian.



BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Air Limbah Permukiman

Air limbah permukiman adalah air limbah yang berasal dari kawasan permukiman, yang sering disebut pula sebagai air limbah domestik. Air limbah domestik adalah air bekas dari semua aktivitas manusia yang mengandung material bersifat toksik pada lingkungan. Secara fisik berupa cairan keruh berwarna abu – abu, berbau tanah tetapi tidak menyengat, disebut sebagai “*grey water*” (Mara, 2003). Material toksik berasal dari limbah manusia (feses dan urin), air bekas mandi, cuci, laundry, dan pembersihan peralatan dapur. Metcalf and Eddy (2003) mendefinisikan air limbah sebagai cairan buangan dari rumah tangga, industri mengandung bahan-bahan membahayakan kelestarian kualitas lingkungan. Sebagian besar air limbah domestik mengandung bahan-bahan *organic biodegradable* seperti protein, karbohidrat dan lemak. Kandungan senyawa organik *biodegradable* dengan konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan berkurangnya kandungan oksigen di dalam air (Tchobanoglous and Schroeder, 1985). Eriksson *et al.*, (2006) menyatakan bahwa air limbah domestik juga mengandung bahan obat-obatan yang keluar bersama urine. Senyawa organik *biodegradable* dalam air limbah dinyatakan sebagai parameter BOD (*Biological Oxygen demand*). Sedangkan senyawa organik baik *biodegradable* maupun *nonbiodegradable* dinyatakan sebagai parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*).

Senyawa anorganik non logam yang terkandung dalam air limbah domestik sebagian besar mengandung unsur Nitrogen dan Phosphor. Unsur Nitrogen dan Phosphor dapat berada dalam bentuk senyawa NH_4^+ (ammonium); NO_2^- (nitrit); NO_3^- (nitrat); dan PO_4^{3-} (orthophosphat). Kandungan senyawa phosphor pada air limbah domestik sebagian besar berasal dari detergen (Effendi, 2003). Kandungan nutrisi yang tinggi dalam air limbah akan mengakibatkan

eutrofikasi dalam badan air. $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ merupakan zat toksik bagi kebanyakan kehidupan air, penyebab deplesi oksigen terlarut (*dissolved Oxygen*, DO) akibat eutrofikasi (Garcia *et al.*, 2000). Kondisi eutrofik ditandai dengan pertumbuhan alga dengan pesat (*blooming*). Hal ini bisa dikenali dengan warna air yang menjadi kehijauan, berbau tak sedap, dan kekeruhannya menjadi semakin meningkat. *Eutrofikasi* akan banyak menghasilkan oksigen di siang hari, sebaliknya di malam hari, terjadi defisit oksigen terlarut dan mengganggu fungsi ekosistem perairan. Polprasert (2007) mengklasifikasikan karakteristik air limbah permukiman menjadi 3 (tiga) tingkatan sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik Kimia Air Limbah Domestik Perkotaan

Parameter	Konsentrasi (mg/L)		
	Kuat	Sedang	Lemah
BOD ₅	400	200	100
COD	800	400	250
Organik N	25	15	8
NH ₃	50	25	12
Total-N	70	40	20
Total-P	15	8	4

Sumber: Polprasert (2007)

2.2. Boezem Morokrembangan

Boezem Morokrembangan merupakan bagian dari sistem drainase dengan tangkapan aliran (*catchment area*) $\pm 25\%$ dari luas total Kota Surabaya. Boezem Morokrembangan terbagi dalam dua bagian yaitu bagian selatan seluas $\pm 37,6$ ha dan utara $\pm 41,58$ ha. Boezem sisi Selatan menerima air dari 2 saluran drainase, yaitu Kali Greges dan Kali Purwodadi. Semula Boezem Morokrembangan difungsikan sebagai kolam retensi untuk pengendalian banjir saat hujan. Saat ini Boezem Morokrembangan juga menerima air limbah domestik yang dibuang ke saluran drainase dan berakhir di Kali Greges dan Kali Purwodadi. Kuantitas dan kualitas air limbah yang masuk ke dalam Boezem Morokrembangan berfluktuasi setiap hari. Boezem Morokrembangan ditetapkan sebagai badan air kelas IV

(Peraturan Daerah Kota Surabaya No. 02 Tahun 2004) dengan baku mutu kualitas badan air sebagaimana pada Tabel 2.2. Secara alamiah, Boezem Morokrembangan dapat berfungsi sebagai kolam stabilisasi (*Stabilization Pond*), yang mampu mereduksi zat pencemar yang masuk ke dalamnya. Boezem dimungkinkan dapat dikembangkan sebagai sistem kolam alga - bakteri untuk pengolahan air limbah (Polprasert, 1996).

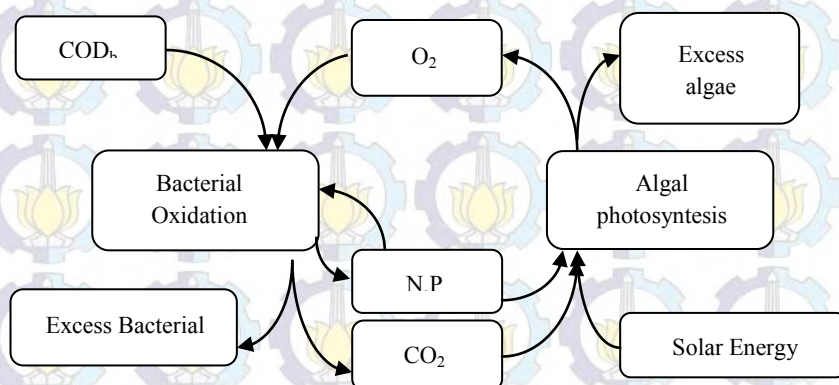
Tabel 2.2 Baku Mutu Kualitas Badan Air Kelas IV

Parameter	Satuan	Baku Mutu
BOD	mg/L	12
COD	mg/L	100
DO	mg/L	0
Total fosfat sebagai P	mg/L	5
NO ₃ sebagai N	mg/L	20

Sumber : PP No.82 Tahun 2001

2.3. High Rate Algae Pond (HRAP)

Istilah “*High Rate*” digunakan untuk kolam alga dengan pertumbuhan alga lebih tinggi bila dibandingkan dengan kolam stabilisasi biasa. Dalam HRAP terjadi simbiosis mutualisme alga dan bakteri aerobik dalam menurunkan polutan organik dan nutrisi. Mekanisme simbiosis mutualisme alga – bakteri dijelaskan pada Gambar 2.1 (Oswald *et al.*, 1957; Oron, 1979; Polprasert, 1996).



Gambar 2.1 Ilustrasi Simbiosis Alga–Bakteri (diadaptasi dari Polprasert, 1996)

Proses pengolahan air limbah dengan sistem HRAP telah dikembangkan dan diteliti sejak tahun 1950 (Oswald *et al.*, 1957 dalam Polprasert, 1996). Tinjauan atau ulasan mengenai teknologi ini telah banyak dijabarkan oleh Fallowfield dan Garrett (1985). Fungsi utama HRAP, memadukan nutrisi dengan pertumbuhan alga sehingga mampu mendorong reduksi zat pencemar dalam air limbah. Polprasert (1996) menyatakan hampir semua limbah perkotaan, limbah pertanian, limbah hewan dapat diolah dengan sistem HRAP.

HRAP merupakan bioreaktor alga-bakteri, dapat berbentuk kolam dengan kedalaman yang rendah. Waktu tinggal hidrolis (HRT) bervariasi, Mara (2003) menyatakan 2 – 6 hari, sedangkan Polprasert (1996) pada kisaran 1,5-8 hari. Pengadukan (*mixing*) secara kontinu diperlukan untuk mencegah terjadinya pengendapan alga (Oswald *et al.*, 1957). Polprasert, 1996 menyatakan pengadukan dalam sistem HRAP berfungsi memelihara keaktifan alga dan sel-sel bakteri dan aerasi air limbah. HRAP sebaiknya dibuat dengan rasio luas area/volume $\geq 1,0$; kedalaman (0,2 - 0,6) meter (Polprasert, 1996). Aliran pendek diminimalisir dengan menggunakan sistem sekat pada kolam untuk membuat rasio panjang/lebar dari kolam lebih besar dari 2:1. Berdasarkan mode operasionalnya, air limbah dapat dimasukkan ke dalam kolam secara kontinu maupun *intermittent*, misalkan setiap 12 jam/hari selama penyinaran matahari. Produksi biomassa (alga dan bakteri) secara teratur harus dikeluarkan dari sistem untuk menjaga keseimbangan dan efisiensi kinerja sistem.

Banyak faktor yang mempengaruhi kinerja suatu HRAP antara lain (1) kedalaman kolam (2) waktu tinggal hidrolis, (3) *mixing*. Intensitas cahaya berperan pada produksi alga, temperatur berpengaruh pada kecepatan kinerja bakteri aerob dalam sistem HRAP (Polprasert, 1996).

(1) Kedalaman Kolam

Kedalaman kolam ditentukan berdasarkan kebutuhan cahaya oleh alga. Oswald *et al.*, (1957) menjelaskan bahwa kedalaman kolam dapat ditentukan dengan pendekatan hukum Beer-Lambert (Reynolds, 2006):

$$\frac{I_z}{I_i} = e^{-C_a \alpha z} \quad (2.1)$$

Dengan : I_i = intensitas cahaya yang terukur pada permukaan pond, bervariasi antara 0 hingga 20.000 ft-candle

I_z = intensitas cahaya yang terukur di bagian dasar z , ft-candle

α = koefisien penyerapan spesifik, berkisar antara 1×10^{-3} hingga 2×10^{-3}

C_a = konsentrasi alga, mg/L

z = kedalaman pond, z

Pada proses desain diasumsikan bahwa seluruh cahaya masuk diserap, sehingga pada bagian dasar kolam, cahaya yang masuk relatif kecil. Jika $I_z \approx 1$, maka Persamaan 2.1 dapat dituliskan sbb :

$$Z = \frac{\ln I_i}{C_a \alpha} \quad (2.2)$$

Berdasarkan perumusan di atas, dapat dilihat bahwa C_a adalah satu-satunya parameter yang mengontrol dalam penentuan kedalaman optimum HRAP. Secara teori, kedalaman untuk pertumbuhan maksimum alga antara 4,5-5 inch (sekitar 12,5 cm). Oswald (1963) melakukan percobaan laboratorium dan menemukan bahwa kedalaman optimum untuk suatu HRAP berkisar antara 8-10 inch (20-25 cm). Kedalaman optimum kolam biasanya berkisar antara (40-50 cm) untuk optimalisasi kinerja sistem alga - bakteri (Polprasert, 1996).

(2) Waktu tinggal hidraulik (*Hidraulic Retention Time, HRT*)

Waktu tinggal hidrolik optimal pada HRAP diperlukan agar seluruh nutrisi terkonversi menjadi sel-sel alga. Oswald dan Gotaas (1957) dalam Polprasert (1996) mengajukan persamaan untuk menentukan HRT dalam suatu HRAP sebagai berikut:

$$HRT = \frac{C_a \cdot h \cdot Z}{1,000 F \cdot I_0 \cdot T_c} \quad (2.3)$$

$$HRT = \frac{L_t \cdot h \cdot Z}{1,000 F \cdot I_0 \cdot T_c \cdot P} \quad (2.4)$$

Dengan :

h = unit *heat of algal*, kg-cal/g of algal; (h algal = 6 kg-cal/g)

F = efisiensi dari konversi energi cahaya menjadi energi kimia, $F \approx 0,1$

I_0 = jumlah cahaya tampak dari sinar matahari yang menembus ke permukaan air, bervariasi dari 0 sampai 800 g-cal/(cm²-hari)

T_c = koefisien temperatur, °C

L_t = BOD atau COD ultimate dari influen air limbah, mg/l

P = rasio massa O₂ /massa alga dari proses fotosintesis

Intensitas awal cahaya (I_0) yang kuat dapat memperpendek HRT. Polprasert (1996) menjelaskan bahwa semakin baik kondisi lingkungan untuk pertumbuhan alga, maka dibutuhkan HRT yang semakin singkat. HRT maksimum tidak boleh melebihi 8 hari, karena kondisi kolam akan kekurangan nutrisi, dan menyebabkan penurunan konsentrasi dari alga.

Hubungan waktu detensi dan kedalaman kolam pada produktivitas harian alga dapat diprediksikan dengan formulasi Oron dan Shelef (1982) dalam Polprasert (1996) :

$$C_a = 0,001475 \left(\frac{HRT}{Z} \right)^{1,71} L_0^{0,7} T^{1,3} \quad (2.5)$$

dan

$$Pa = Ca \left(\frac{Z}{HRT} \right) \quad (2.5a)$$

Dengan :

C_a = konsentrasi alga, mg/L;

HRT = Waktu retensi, HRT (hari);

Z = kedalaman kolam (m);

L_o = konsentrasi BOD influen, mg/L;

T = Suhu, °C

P_a = produktivitas alga (kg/ha.hari);

(3) Pengadukan (*Mixing*) dan Resirkulasi

Pengadukan pada sistem HRAP penting untuk mencegah terjadinya sedimentasi alga dan menjaga terjadinya interaksi lapisan bentik dan mikroba oksigen terlarut. Pengadukan menjaga agar nutrisi dapat berkontak dengan permukaan sel-sel alga, menstimulasi aktivitas metabolik dan efisien dalam pemanfaatan energi cahaya. Di sisi lain, pengadukan mengakibatkan terjadinya resuspensi sedimen dan dapat mengurangi penetrasi cahaya. Resirkulasi kadang diperlukan untuk menjaga rasio kebutuhan alga dan sel-sel bakteri aktif dalam sistem HRAP. Oswald dalam Polprasert (1996) menyatakan kecepatan air dalam sistem HRAP sebaiknya pada rentang 5 - 15 cm/detik, agar alga tetap tersuspensi. Dimana, pada kecepatan ini, alga tetap melayang di area permukaan dan menerima energi cahaya matahari secara penuh. Sedangkan biomassa aktif sebagai bioflok melayang pada zona tengah dan bagian bawah kolam untuk melakukan proses biodegradasi substrat.

2.3.1 Proses Biologi dalam sistem HRAP

Sebagaimana dijelaskan pada Gambar 2.1, proses simbiosis alga-bakteri dalam suatu kolam atau reservoir meliputi interaksi dua kelompok aktivitas. Kelompok aktivitas pertama interaksi antara pertumbuhan alga dan pengambilan nutrisi. Variabel proses pada interaksi ini meliputi jenis dan karakteristik alga, dinamika pertumbuhan alga terkait siklus fosfat dan nitrogen. Kelompok

aktivitas kedua adalah interaksi antara pertumbuhan bakteri, biodegradasi senyawa organik dan penyerapan nutrisi.

2.3.1.1 Jenis dan karakteristik alga

Alga adalah organisme akuatik yang dapat melakukan fotosintesis dan bersifat oksigenik autotrof. Umumnya ukurannya lebih kecil dan strukturnya lebih sederhana daripada tumbuhan darat (Graham., *et al.*, 2000). Definisi lain menyatakan alga adalah tumbuhan mikroskopik berfotosintesis dalam struktur sederhana, tidak memiliki akar, batang, maupun daun. Ukurannya mulai bersel tunggal sampai bersel majemuk, dengan jenis - jenis warna alga : hijau, biru, coklat, kuning dan merah. Alga memproduksi setidaknya setengah dari oksigen di atmosfer yang sangat diperlukan manusia dan hewan (Hoek *et al.*, 1995). Secara umum alga dibedakan dalam dua jenis yaitu, (1) makro alga, juga dikenal dengan rumput laut, dan (2) mikro alga. Istilah mikro alga mengacu pada ukuran mikroskopik $\pm (1-50) \mu\text{m}$, eukaryotik alga seperti *Chlorella* dan *Monodus*. Mikroalga tidak melakukan diferensiasi sebagaimana tumbuhan tingkat tinggi, sedikit memiliki organ spesial seperti akar, batang bunga dan daun. Alga memiliki kemampuan untuk melakukan fotosintesis dan berperan sebagai produsen dalam ekosistemnya (Rynolds, 2006). Berbagai jenis alga bersel satu hidup bebas dalam air dan dapat bergerak aktif. Sebagian besar fitoplankton terdiri dari alga hijau, sangat efektif melakukan fotosintesis sebagai produsen oksigen dalam ekosistem perairan.

Fitoplankton dapat ditemukan pada berbagai jenis perairan, yaitu laut, danau, sungai, waduk dan kolam. Fitoplankton dapat hidup pada berbagai kedalaman asalkan masih ada penetrasi cahaya matahari untuk berfotosintesis. Sifat khas fitoplankton mampu berkembang secara berlipat ganda dalam waktu relatif singkat, tumbuh dalam kepadatan tinggi dan terhampar luas. Struktur morfologi fitoplankton bermacam-macam, ada yang uniseluler dan multiseluler, berbentuk benang, bulat, oval, hidup tunggal maupun berkelompok. Sel fitoplankton terdiri dari dinding sel, membran plasma, nucleus, mitokondria,

lisosom, badan golgi, retikulum endoplasma, pyrenoid, dan ribosom (Reynolds, 2006). Fitoplankton merupakan komponen autotrof plankton, mampu mensintesis makanan sendiri dari sumber karbon anorganik dengan bantuan energi matahari. Komponen autotrof berfungsi sebagai produsen dalam ekosistem perairan. Kalf (2002) menyatakan pada ekosistem air tawar, fitoplankton memiliki peran lebih penting daripada vegetasi berakar dalam memproduksi makanan pokok. Vegetasi berakar sering hanya berada di daerah litoral, sedangkan fitoplankton tersebar di daerah limnetik yang lebih luas. Fitoplankton juga dikelompokkan berdasarkan pada ukurannya, terdiri dari 6 kelompok, yaitu: megaplankton; makroplankton; mikroplankton; nanoplankton; pycoplankton dan femtoplankton (Kalf, 2002). Jenis mikro alga sangat beragam, diperkirakan terdapat sekitar dua ratus ribu spesies. Dimana, sekitar tiga puluh lima ribu spesiesnya sudah dideskripsikan (Kalf, 2002). Kebanyakan mikro alga mengandung karotenoid, asam lemak, enzim, polimer, peptida, toksin, sterol (Reynolds, 2006). Produk-produk dalam sel alga dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti temperatur, pencahayaan, pH, suplai CO₂, garam dan nutrisi. Keberadaan produk-produk tersebut menjadikan alga bermanfaat dalam bidang pertanian, farmasi, kosmetik dan industri makanan (Bosma, 2010). Sigeo (2005) mengklasifikasi alga berdasarkan pigmentasinya menjadi sepuluh kelas sebagaimana dijelaskan pada Tabel 2.3. Dari sepuluh kelas tersebut, alga hijau dan alga biru-hijau merupakan jenis alga yang paling dominan.

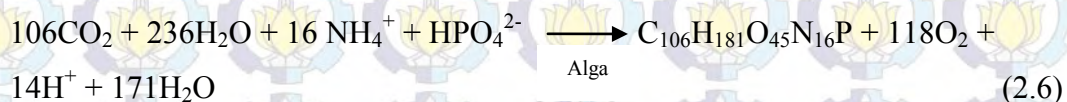
2.3.1.2 Proses Metabolisme Alga

A. Fotosintesis Alga

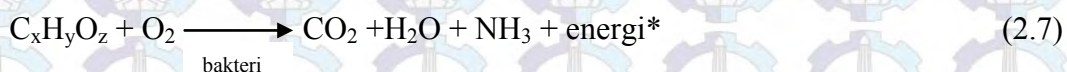
Fotosintesis merupakan proses metabolisme untuk mengkonversi energi cahaya menjadi energi kimia (ATP dan Glukosa). CO₂ sebagai sumber karbon dan cahaya sebagai sumber energi (Bitton, 2005). Proses fotosintesis terjadi dalam dua fase reaksi yaitu fase reaksi terang dan fase reaksi gelap (Shuler and Kargi, 2002). Proses metabolisme alga dapat dijelaskan dengan persamaan reaksi stokiometri (Mara, 2003). Persamaan 2.6. menunjukkan rasio N:P yang optimum untuk alga adalah 16 : 1. Meskipun demikian, rasio N : P bergantung pada jenis

alga dan bervariasi antara 4 : 1 sampai 40 : 1. Sumber lain menyebutkan rasio untuk pertumbuhan optimum alga, C : N = 6 : 1 dan C : P = 48 : 1 (Oswald, 1960). Reaksi metabolisme dalam sel alga dapat dijelaskan dalam beberapa persamaan stoikiometri berikut:

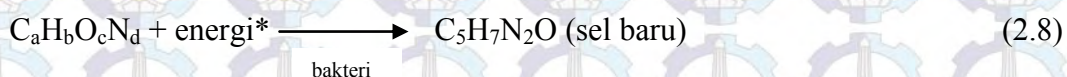
Fotosintesis:



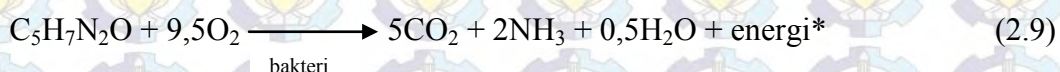
Respirasi:



Sintesis sel:



Autolisis:



*Energi dalam bentuk *Adenosine Triphosphate* (ATP).

Tabel 2.3: Klasifikasi Alga Berdasarkan Pigmen

Divisi Alga (Kelas)	Warna Pigmen yang Dominan
<i>Cyanophyta</i>	Biru-Hijau
<i>Chlorophyta</i>	Hijau
<i>Euglenophyta</i>	Berbagai warna
<i>Raphidiophyta</i>	Kuning-Hijau
<i>Dinophyta</i>	Merah-Coklat
<i>Cryptophyta</i>	Berbagai warna
<i>Chrysophyta</i>	Coklat Keemasan
<i>Bactilanophyta</i>	Coklat Keemasan
<i>Rhodophyta</i>	Merah
<i>Phaeophyta</i>	Coklat

Sumber: (Diadaptasi dari Sige, 2005)

Persentase kebutuhan tiap jenis nutrisi yang dibutuhkan oleh sel dapat dilihat pada Tabel 2.4. Secara keseluruhan, sistem reaksi dalam metabolisme sel alga dijelaskan pada Gambar 2.2. Selama proses fotosintesis terjadi perubahan keseimbangan karbonat dan pH, yang akan menghambat reaksi fotosintesis jika

pH $\geq 8,1$. Efek perubahan pH akan menggeser spesies carbon dioksida dalam bentuk karbon inorganik (karbonat, CO_3^-). Pada pH 9 spesies karbonat akan terbentuk sehingga alga tidak dapat memanfaatkan sumber karbon tunggal (CO_2) untuk proses fotosintesisnya. pH badan air yang tinggi juga akan mempercepat pengendapan alga, pengurangan *uptake* nutrisi dan menghambat perkembangan alga (Reynolds, 2006).

Tabel 2.4. Kebutuhan unsur kimia dan nutrisi dalam sel alga

Pengelompokan Nutrien	Persentase dalam sel
<i>Mayor elemen</i>	
Karbon	45-55%
Oksigen	16-22%
Nitrogen	12-16%
Hidrogen	7-10%
Fosfor	2-5%
Sulfur	0,8-1,5%
Kalium	0,8-1,5%
Sodium	0,5-2%
Magnesium	0,4-0,7%
Kalsium	0,4-0,7%
Klor	0,4-0,7%
Besi	0,1-0,4%
Mikronutrien dan Trace nutrient	
Timah	<0,1%
Mangan	<0,1%
Selenium	<0,1%
Cobalt	<0,1%
Tembaga	<0,1%
Tungsten	<0,1%
Nikel	<0,1%
Silikon	<0,1%
Faktor pertumbuhan	
Vitamin	<0,1%
Asam amino	<0,1%

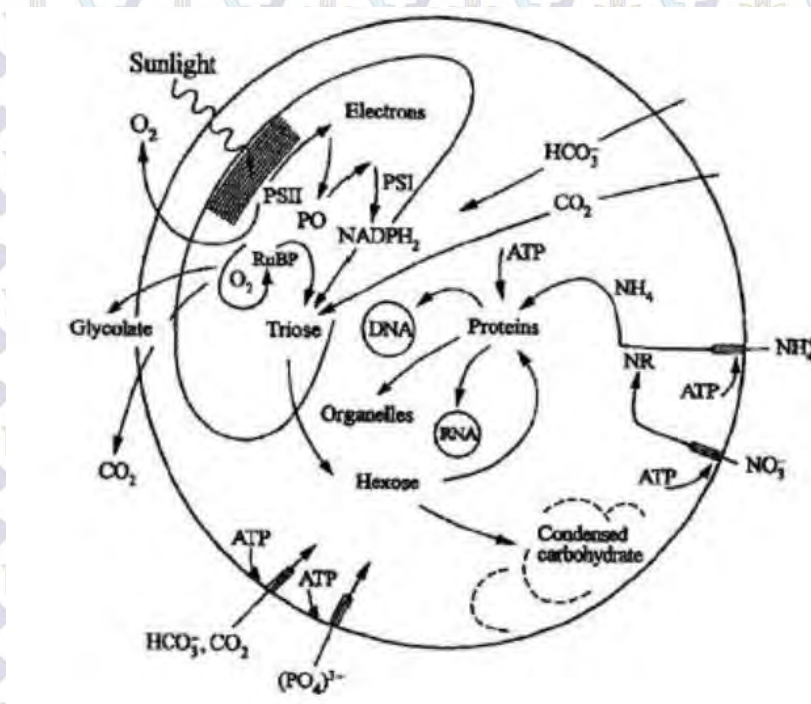
Sumber: Driscoll (2008).

B. Faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Pertumbuhan Alga

1. Intensitas Cahaya

Cahaya merupakan komponen penting dalam pertumbuhan alga utamanya untuk proses fotosintesis. Beberapa spesies alga dapat tumbuh heterotrop di

kegelapan, tetapi kebanyakan alga adalah phototrop dan juga dapat tumbuh secara photoautotrop atau heterotrop (*mixotrop*). Dalam reaksi terang, klorofil menyerap foton dengan panjang gelombang antara 400 sampai 700 nm (*Photosynthetic Active Radiation*, PAR). Pada badan air permukaan, intensitas cahaya dengan cepat akan berkurang akibat absorpsi oleh sel-sel alga di dalamnya. Kandungan partikulat dan zat warna dalam badan air akan menurunkan kemampuan penetrasi cahaya sampai ke dasar. Gambar 2.3 menunjukkan hasil penelitian Wong, (1997) dengan model *Oxydation ditch* atau *raceway*, menyatakan alga berkembang optimal pada kedalaman sekitar 15-30 Cm.

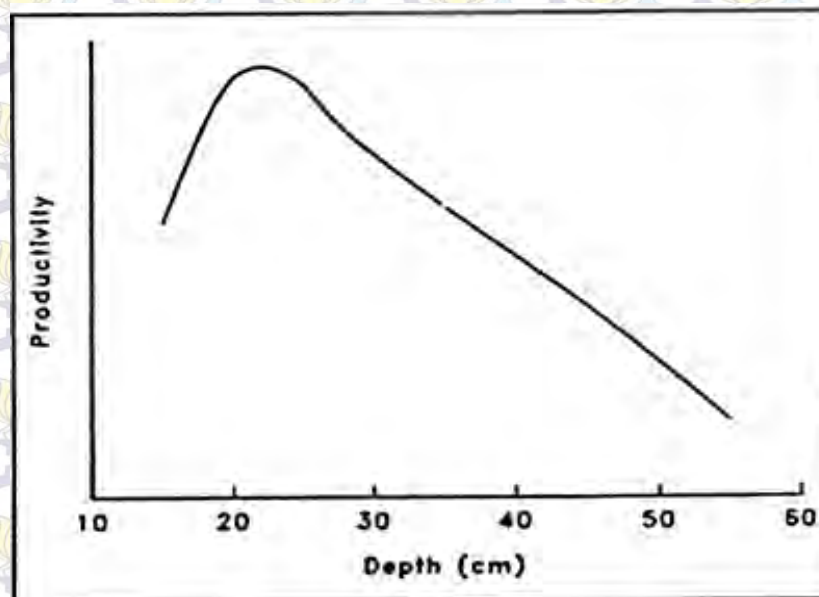


Gambar 2.2 Reaksi Metabolism Dalam Sel Alga (Rheynolds, 2006)

2. Nutrien

Nutrien yang diperlukan untuk pembentukan sel biomassa diklasifikasikan menjadi 2 (Shuler and Kargi, 2002) yaitu makronutrien dan mikronutrien. Makronutrien dibutuhkan oleh alga dengan konsentrasi lebih besar dari 10⁻⁴ M.

Makronutrien meliputi sulfur, fosfat, Magnesium (Mg^{+}); Potasium (K^{+}); Carbon, Hidrogen, Oksigen, Nitrogen dan Fosfat. Sumber karbon untuk alga, umumnya diambil dalam bentuk karbon tunggal sebagai CO_2 , sedangkan Hidrogen dan Oksigen tersedia melimpah dalam air. Oksigen disamping dibutuhkan sebagai penyusun sel, memiliki fungsi utama sebagai terminal elektron akseptor pada proses respirasi alga. Nitrogen dibutuhkan cukup besar dengan komposisi sebesar (10 – 14)% berat kering sel alga.



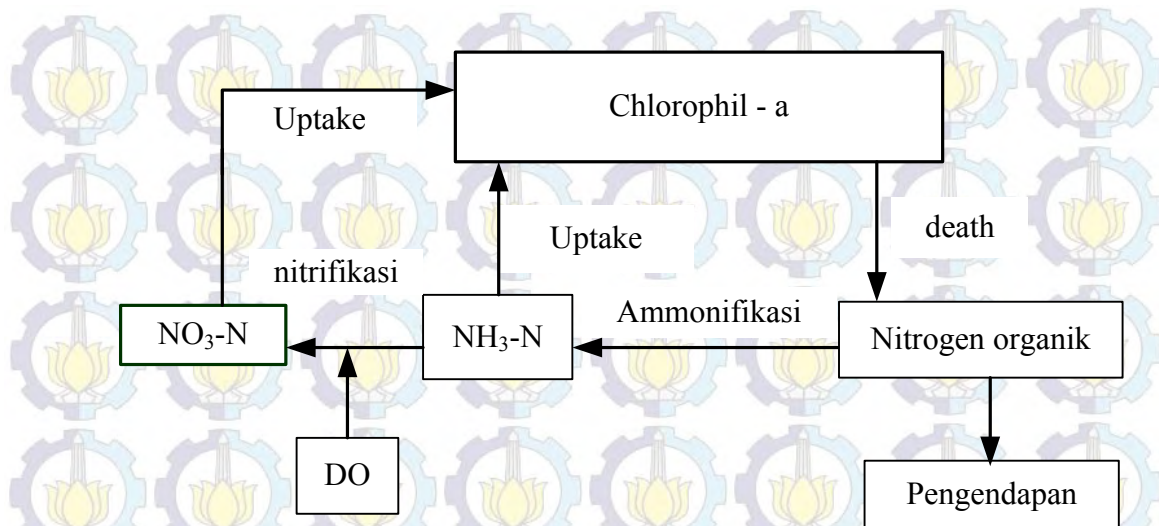
Gambar 2.3 Hubungan Antara Kedalaman Kolam dan Produktivitas Alga pada Sistem Raceway (Wong, 1997)

Mikroalga mengambil nitrogen dalam bentuk ammonia ataupun ammonium. Namun Phosphor dalam sel biomassa berada sekitar 3 % berat kering. Pada proses metabolisme sel phosphor diambil dalam bentuk orthophosphat (PO_4). Kadar Sulfur sebesar 1 % berat kering sel biomas, berada dalam bentuk protein dan koenzym. Potasium (K^{+}) merupakan kofaktor pada beberapa enzim dan diperlukan dalam metabolisme karbohidrat.

Sel-sel alga secara aktif cenderung mengambil ion K^{+} dan Mg^{+} dibanding mengambil Na^{+} dan Ca^{2+} sebagai kofaktor. Magnesium (Mg^{+}) merupakan

kofaktor beberapa enzim dan berada pada dinding sel dan membrane, ribosom secara specific memerlukan ion Mg^{+} . Mikronutrien dibutuhkan kurang dari 10^{-4} M. Mikronutrien berupa *trace element* seperti Fe^{2+} , Mo^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Na^{+} , vitamin dan hormon pertumbuhan. Mikronutrien sangat berperan penting dalam proses metabolisme sel sebagai kofaktor enzim. Walaupun kebutuhannya relatif kecil mikronutrien penting untuk metabolisme sel. Kekurangan mikronutrien mikroorganisme akan mengalami kelambatan dalam proses produksi dan pembelahan sel. Komposisi nutrien yang lengkap dan konsentrasi nutrien yang tepat menentukan produksi biomassa dan kandungan gizi mikroalga. Media yang umum digunakan untuk kultur mikroalga adalah media sintetis dan alami. Media sintetis terdiri dari senyawa-senyawa kimia yang komposisi dan jumlahnya telah ditentukan. *Bold's Basal Medium* (BBM) merupakan media sintetis yang umum digunakan dalam kultur mikroalga *Chlorophyta*.

Unsur nitrogen memegang peranan penting pada ekosistem perairan. Bagi mikroorganisme, nitrogen merupakan komponen penyusun protein, asam nukleat, dan lain-lain. Didalam air, nitrogen dapat berada dalam berbagai bentuk senyawa nitrogen. Sumber nitrogen berasal dari aktivitas manusia, biodegradasi senyawa nitrogen organik, fiksasi N_2 dari udara oleh kelompok mikroorganisme dan alga tertentu. Siklus nitrogen dalam sistem HRAP secara umum dijelaskan dalam Gambar 2.4. Dalam metabolismenya alga lebih menyukai nitrogen dalam bentuk senyawa NO_3^{-} dan NH_4^{+} . Namun, kehadiran ammonium dalam konsentrasi yang tinggi justru akan bersifat toksik dan menghambat pertumbuhan alga (Chen *et al.*, 2011). Sigeo (2005) menjelaskan alga autotrof dan bakteri fotosintetik mendapatkan nitrogen melalui asimilasi nitrogen inorganik dan fiksasi N_2 dari udara. Sedangkan, bakteri heterotrofik memerlukan nitrogen terlarut, baik organik maupun inorganik.



Gambar 2.4 Siklus nitrogen pada sistim HRAP (Diadaptasi dari Kuo, J.T.*et.al.*, 2008)

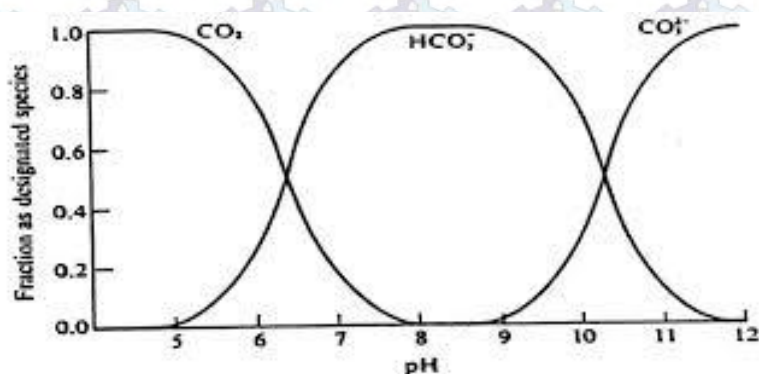
3. Ketersediaan CO₂

Spesies senyawa karbon untuk proses fotosintesis berupa *Dissolved Inorganic Carbon* (DIC), yaitu CO₂ dan HCO₃⁻ (Ramanan *et al.*, 2010). CO₂ digunakan sebagai sumber karbon untuk pembentukan sel (Fernandez *et al.*, 2012). Sistim HRAP untuk pengolahan air limbah dengan kandungan nutrisi tinggi, perlu ditambahkan CO₂ (Woertz *et al.*, 2009a). Mikroalga dapat melakukan fiksasi CO₂ dari udara, menangkap CO₂ pada emisi hasil pembakaran bahan bakar fosil (Park *et al.*, 2011a). Laju fiksasi CO₂ oleh alga lebih tinggi jika dibandingkan dengan tumbuhan tanah (Ramanan *et al.*, 2010). Berdasar reaksi stoikiometri dalam Persamaan 2.6, diketahui 1 gram alga membutuhkan CO₂ sebesar 1,92 gram dan menghasilkan 1,55 gram oksigen.

4. pH

Park *et al.*, (2011) menyatakan bahwa pH pada air mempengaruhi proses biokimia yang berhubungan dengan pertumbuhan dan metabolisme alga. pH juga berpengaruh pada kemampuan penyerapan unsur hara oleh mikroalga. pH

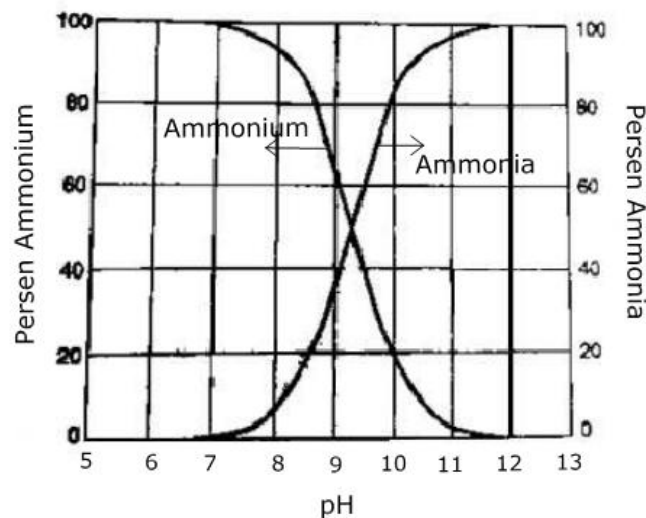
optimum untuk pertumbuhan mikroalga pada air tawar ± 8 (Park *et al.*, 2011a). Secara umum phytoplankton umumnya akan tumbuh dan berkembang dengan baik pada kondisi pH netral (Kalff, 2002, Reynold, 2006). Serapan CO_2 oleh mikroalga dalam proses HRAP, dapat mengakibatkan kenaikan pH sampai 10-11. Proses fotosintesis berpengaruh pada kesetimbangan CO_2 terlarut, bikarbonat (HCO_3^-), dan ion karbonat (CO_3^{2-}) dalam air (Kalff, 2002). Kesetimbangan karbonat dalam badan air sebagai fungsi pH dijelaskan dalam Gambar 2.5. Senyawa nitrogen dalam air juga merupakan fungsi pH. Pada pH asam, nitrogen ammonia berada dalam bentuk ion ammonium, dan ion ammonia pada pH basa sebagaimana dijelaskan Gambar 2.6.



Gambar 2.5 Kesetimbangan pH dan Carbon Inorganik dalam Air permukaan (diadaptasi dari Kalff, 2002).

5. Temperatur

Temperatur badan air mempengaruhi pertumbuhan, jenis dan spesies phytoplankton (Kalff, 2002). Temperatur akan mempengaruhi profil pencampuran alamiah (*natural mixing*) dan kesetimbangan komponen-komponen tertentu (O_2 , CO_2 , Ammonia, VOC) dalam air. Temperatur dapat mengubah kesetimbangan ionik pada air kolam, pH, dan kelarutan gas O_2 dan CO_2 . Temperatur alamiah tidak menjadi faktor pembatas pada pertumbuhan setiap spesies alga (Reynolds, 2006).



Gambar. 2.6 Grafik NH_3 dan NH_4^+ Fungsi pH
(Diadaptasi dari Metcalf dan Eddy, 2004)

6. Salinitas

Salinitas merupakan faktor yang juga dapat mempengaruhi pertumbuhan alga (Riisgard *et al.*, 2012). Ketahanan alga laut terhadap salinitas berbeda dengan alga air tawar. Sel alga *Botryococcus braunii* memiliki pertumbuhan lebih tinggi pada kandungan nutrisi dan salinitas tinggi. Penelitian efek salinitas terhadap alga air tawar di wilayah tropis menunjukkan bahwa pengaruh salinitas tergantung pada spesies alga. Pada spesies *Calothrix scopulorum* pertumbuhan optimum pada salinitas 1 ppt, spesies *Nostoc entophyta* pada 1-3,5 ppt (Bhatthiri dan Devassy, 1975). Penelitian Gu *et al.*, (2012) menunjukkan bahwa spesies *Nannochloropsis oculata*, laju pertumbuhan spesifik akan menurun pada salinitas tinggi. Penurunan laju pertumbuhan spesifik alga sejalan dengan penurunan konsentrasi klorofil-a.

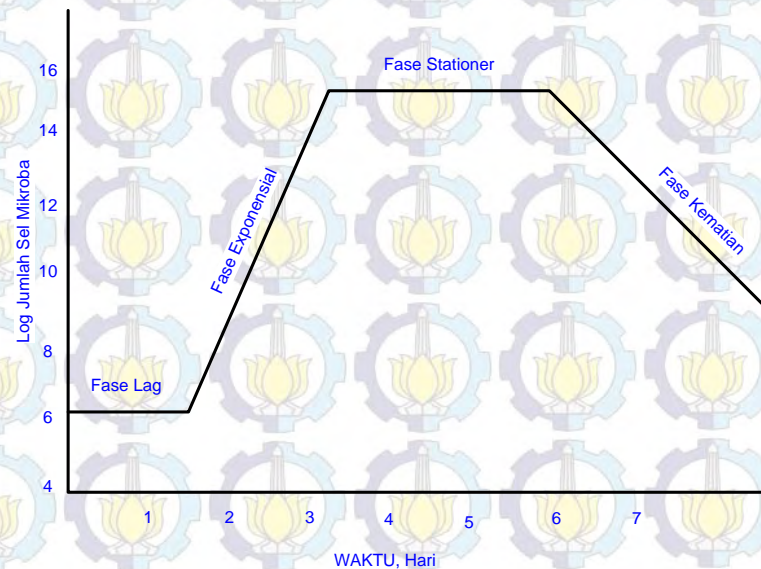
2. 3.1.3. Laju Pertumbuhan Sistem Alga - Bakteri .

Berdasarkan kebutuhan elektron akseptornya, bakteri dikelompokkan dalam tiga golongan yaitu bakteri aerobik, anoksik dan anaerobik. Semua kelompok bakteri menghasilkan produk akhir yang dapat dimanfaatkan oleh mikro alga (Gaudy and Gaudy, 1981). Kelompok bakteri yang berperan pada sistem alga umumnya, bakteri aerobik photoheterotroph dan chemoorganotroph

(Kalff, 2002). Kelompok bakteri ini memanfaatkan senyawa organik karbohidrat, protein dan lemak, yang menjadi sumber karbon dan nutrisi sel alga. Aktivitas bakteri dipengaruhi oleh faktor lingkungan yang berpengaruh pada proses perkembangan biakan. Faktor utama antara lain: Temperatur; tekanan osmotik; DO; Nitrogen; Phosphat; pH; ion logam berat dan komponen bersifat toksik terhadap bakteri. Bakteri yang berkembang pada air permukaan di daerah tropis umumnya adalah bakteri jenis mesophilis yang hidup pada kisaran suhu 20-45 °C. Kenaikan suhu sebesar 10°C akan meningkatkan aktivitas mikroba sebanyak dua kali. Kebanyakan bakteri relatif toleran pada air payau dengan kandungan garam antara (500 – 35000) mg/L. Konsentrasi oksigen terlarut (DO) di atas 2,0 mg/L sangat mendukung aktivitas bakteri aerob (Metcalf and Eddy, 2004). Bakteri memerlukan nitrogen dan phosphat untuk penyusunan sel – sel bakteri. Secara umum rasio senyawa organik dan nutrisi dinyatakan BOD : N : P = 100 : 5 : 1. Rasio kebutuhan nutrient ini didasarkan pada kesepakatan rumusan kimiawi bakteri adalah $C_5H_7NO_2P_{0,26}$ (Metcalf and Eddy, 2004). Sinar UV dengan panjang gelombang tertentu akan mematikan aktivitas mikroba. Namun, dalam sistem badan air dengan tingkat kekeruhan tertentu akan menahan tingkat toksisitas sinar UV pada bakteri. Secara umum bakteri akan hidup pada rentang pH 6,5 – 9 dan optimum berada pada pH netral. Ion – ion logam berat pada konsentrasi cukup rendah sudah bersifat toksik terhadap bakteri dan menghambat aktivitas metabolismenya. Komponen kimiawi tertentu seperti ammonium hidroksida, asam benzoate, alkohol, phenol dan senyawa antibiotik pada konsentrasi tertentu bersifat toksik terhadap mikroba.

Jumlah bakteri pada suatu sistem pengolahan air buangan, diukur sebagai konsentrasi padatan volatile tersuspensi (*Mixed Liquor Volatile Suspended Solid* MLVSS). Pada proses pemulihan badan air permukaan, bakteri memegang peran penting untuk penurunan konsentrasi pencemar organik dinyatakan sebagai BOD maupun COD. Kemampuan pemurnian diri badan air permukaan di indikasikan adanya kenaikan konsentrasi oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*, DO). Pemulihan badan air terjadi karena bakteri mengkonsumsi pencemar organik, sehingga reaerasi alamiah mampu menaikkan konsentrasi DO.

Laju pertumbuhan mikroorganisme merupakan salah satu indikator kinerja suatu sistem pengolahan air limbah dengan proses biologi. Pola pertumbuhan mikroorganisme secara umum dijelaskan dalam Gambar 2.7 (Gaudy & Gaudy, 1981).



Gambar 2.7 Grafik Pertumbuhan Mikroorganisme (Diadaptasi dari Gaudy & Gaudy, 1981)

Model matematis laju pertumbuhan spesifik diturunkan berdasarkan hasil eksperimen sebagaimana Gambar 2.7. Gaudy & Gaudy 1981, mengajukan model matematik untuk mengekspresikan besarnya laju pertumbuhan spesifik mikroba sebagaimana Persamaan 2.10.

$$\mu = \frac{(\ln X_{t_1} - \ln X_{t_0})}{(t_1 - t_0)} \quad (2.10)$$

Dengan : X = Konsentrasi Biomassa , (mg VSS/L)

t = waktu pertumbuhan biomassa saat t_0 dan t_1 (hari)

Laju pertumbuhan mikroorganisme sebagai fungsi substrat dikembangkan berdasarkan teorema Monod oleh Michaelis-Menten (Metcalf & Eddy 2004) sebagai berikut:

$$\mu = \left[\frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} \right] \quad (2.11)$$

Dengan :

μ = laju pertumbuhan alga sebagai *Chlorophyll-a*.

μ_{\max} = laju pertumbuhan maksimum pada solar radiasi I dan suhu T

S = konsentrasi polutan, substrat dan atau nutrien (Nitrogen dan Phosphat anorganik mg/L.

K_s = konstanta $\frac{1}{2}$ laju oksidasi, konsentrasi substrat saat $\frac{1}{2}$ laju maksimum oksidasi substrat (g/m^3)

Data konstanta biokinetik merupakan faktor sangat penting dalam proses perencanaan suatu sistem pengolahan air limbah. Konstanta biokinetik K_s dan μ_{\max} ditentukan melalui linerisasi persamaan 2.11 (Reynolds, 1996), membuat kurva korelasi $1/\mu$ dan $1/S$ sebagai berikut :

$$\frac{1}{\mu} = \left(\frac{K_s}{\mu_{\max}} \right) \frac{1}{S} + \frac{1}{\mu_{\max}} \quad (2.12)$$

Dengan :

S = konsentrasi substrat yang membatasi pertumbuhan dalam larutan (g/m^3)

μ_m = laju pertumbuhan spesifik maksimum (g sel baru/ hari)

μ = laju pertumbuhan spesifik biomassa (g VSS/g VSS.hari)

Nilai μ ditentukan melalui beberapa percobaan pertumbuhan biomassa pada berbagai konsentrasi substrat.

Laju pertumbuhan alga dalam sistem HRAP telah banyak dikembangkan dengan parameter pengontrol adalah intensitas cahaya sebagai sumber energi saat berfotosintesa. Model persamaan dengan mengacu pada formulasi dasar dari

Monod dan Michaelis Menten telah banyak dikembangkan. Namun, mayoritas dari persamaan tersebut mengandung dua parameter atau lebih dan menerangkan pertumbuhan hanya pada spesies mikroba. Oleh sebab itu, dibutuhkan sebuah model sederhana dan universal yang menerangkan pengaruh cahaya terhadap laju pertumbuhan spesifik mikroorganisme fotosintetik.

2.3.1.4 . Model-model Kinetika Pertumbuhan Alga

Kinetika model pertumbuhan alga dalam sistem alga-bakteri dapat ditinjau berdasarkan pada laju konsumsi substrat, nutrient, dan intensitas cahaya. Model kinetik akan memberikan pemahaman tentang produksi biomassa, tingkat konsumsi nutrien, yang sangat penting untuk perencanaan suatu sistem HRAP. Model kinetika Monod sampai saat ini masih sebagai acuan untuk pengembangan persamaan kinetika proses biologi. Beberapa model persamaan kinetika untuk laju pertumbuhan spesifik alga dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- 1) Model kinetik terkait dengan konsentrasi karbon inorganik
- 2) Model kinetik terkait dengan konsentrasi nitrogen
- 3) Model kinetik terkait dengan konsentrasi phosphat

1) Model Kinetik berbasis Konsentrasi Karbon Inorganik

Hsueh *et al.*, (2009), Tang *et al.*, (2011), mengembangkan persamaan Monod berbasis konsentrasi karbon untuk pertumbuhan alga. Model kinetik berbasis konsentrasi karbon dijelaskan dalam persamaan berikut,

$$\mu = \mu_{max} \frac{S_c}{(K_{S,c} + S_c)} \quad (2.13)$$

Dengan, S_c = Konsentrasi Karbon dioksida, mg CO₂/L

2) Model kinetik berbasis konsentrasi nitrogen

Beberapa studi telah mengembangkan persamaan Monod dengan nitrogen sebagai faktor pembatas. Konsentrasi nitrogen dapat dinyatakan sebagai N-NH_4^+ maupun N-NO_3^- . Penelitian untuk estimasi parameter Monod pada spesies alga yang berbeda telah dilakukan oleh Aslan and Kapdan (2006). Hasil penelitian modifikasi model Monod mengacu pada perubahan konsentrasi nitrogen yaitu :

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S_N}{(K_{sN} + S_N)} \quad (2.14)$$

Dengan :

μ_{\max} = Laju Pertumbuhan spesifik maksimum, (g sel baru/ hari)

$K_{s,N}$ = Konstanta kejenuhan, mg /L

S_N = Konsentrasi Nitrogen, mg/L

3) Model kinetik terkait dengan konsentrasi fosfat

Model-model kinetika berbasis konsentrasi fosfat yang telah dikembangkan oleh Aslan and Kapdan, 2006. Pengembangan model didasarkan pada persamaan Michaelis-Menten, yang mengikuti bentuk model Monod.

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S_P}{(K_{sP} + S_P)} \quad (2.15)$$

S_P = Konsentrasi Phosphor, mg/L.

Aslan dan Kapdan (2006), menumbuhkan alga pada media buatan dan mengkondisikan reaktor pada suhu $20 \pm 2^\circ\text{C}$ dan pH netral. Hasil penelitian menunjukkan nilai $Y = (0,01-0,05)$ g.biomassa/mg NO_3^- ; $(0,05-0,08)$ g.biomassa / mg PO_4^- . Nilai $\mu = (0,42-0,69)$ /hari, $K_s = 19,4$ mg NO_3^- /L dan $1,61$ mg PO_4^- /L. Hasil penelitian berbasis alga Y sebesar $0,15$ mg klorophil-a/mg NH_4 dan $0,14$ mg klorophil-a/ mg PO_4 , nilai K_s sebesar $31,5$ mg NH_4 /L dan $10,5$ mg PO_4 /L.

2.3.2. Kinerja HRAP dari Penelitian Terdahulu

Sistem HRAP ditemukan dan dikembangkan pertama kali untuk untuk memaksimalkan produksi alga daripada untuk mengolah limbah (Oswald, 1957). Namun pada penelitian-penelitian selanjutnya ditemukan bahwa HRAP memiliki efisiensi penyisihan senyawa organik yang tinggi. Sehingga, sistem HRAP selain sebagai produksi alga HRAP juga berfungsi sebagai pengolah air limbah. Alga jenis *Chlorella sp.* dan *Scenedesmus sp* banyak digunakan pada pengolahan air limbah (Lim *et al.*, 2010, Godos *et al*, 2010). Beberapa hasil penelitian sistem HRAP untuk penurunan COD, BOD, Nitrogen dan phosphat antara lain:

- a. Godos *et al.* (2010), penelitian dengan dominasi jenis alga *Scenedesmus* dalam HRAP mengolah air limbah industri pertanian. Kondisi penelitian konsentrasi awal COD = 342 ± 26 mg/L; HRT= 10 hari; pH = 9,8. Sistem HRAP mampu menurunkan COD sebesar $56 \pm 31\%$.
- b. Lim *et al.* (2010), menggunakan *Chorella vulgaris sp* (0,17-2,26) mg *chlorophyll-a*/L; [COD] = (231,67 - 990,00 mg/L). Pada HRT 10 hari, efisiensi penyisihan COD = (38,3 - 62,3) %, NH₄-N = (44,4 – 45,1) %, PO₄-P (33,1-33,3) %. Namun, sistem HRAP tidak mampu menurunkan warna.
- c. Travieso *et al.* (2006), menggunakan campuran kultur *Chlorella vulgaris* dan bakteri untuk pengolahan air limbah peternakan babi. Kondisi penelitian proses *batch*; HRT = 190 jam, suhu = (27 – 32) °C pada siang dan (21-25)°C pada malam hari. Hasil penelitian, pada COD awal = (400 – 800) mg/L efisiensi penurunan COD = (50 – 60) %. Penurunan COD mencapai = 88,0 % pada COD awal = 250 mg/L dan 20,6% pada COD awal=1.100 mg/L.
- d. Aslan dan Kapdan (2006), melakukan penelitian penurunan NH₄-N dan PO₄P dari limbah buatan dengan reaktor *batch* menggunakan alga *Chlorella vulgaris*. Konsentrasi awal *chlorophyll-a* alga sekitar $3,5 \pm 0,5$ mg/L; pH dan temperature media adalah 7,0 dan 20 ± 2 °C. Waktu tinggal = 10 hari, efisiensi penurunan NH₄-N mencapai (24-100) % dengan konsentrasi = 13,2 - 410 mg/L. Pada konsentrasi awal (7,7 - 199) mg PO₄-P /L mampu menurunkan PO₄-P sebesar (30 - 78) %.

- e. Bich *et al.* (1999) Menggunakan *Chlorella vulgaris* dan *Eichornia crassipies* untuk pengolahan air limbah industri karet. Sistem HRAP mampu menurunkan BOD = 92,9 % .
- f. Azof and Shelef. (1982) pada HRAP dengan aerasi menunjukkan sistem mampu menurunkan BOD ≥ 91 %.

Penelitian kemampuan HRAP untuk menurunkan kandungan nutrisi yang dilakukan menggunakan biakan atau kultur alga murni, kesimpulan penelitian antara lain:

- a. Marin *et al.* (2010) menunjukkan bahwa alga dapat menurunkan konsentrasi N dan P dalam sistem *batch*.
- b. McGriff. (1972) menunjukkan bahwa kolam alga dapat menurunkan kandungan nitrogen air limbah sebesar 92 % dan fosfat sebesar 74 %.
- c. Termini *et al.* (2010) menunjukkan HRAP mampu menurunkan konsentrasi Nitrogen - Ammonia sebesar 90 % dan phospat sebesar 80-90 %.
- d. Woertz *et al.* (2009a) melakukan penelitian dengan HRT 2 - 4 hari pada HRAP aliran secara kontinu. Pada konsentrasi ammonium awal 39 mg/L dan fosfat sebesar 2,1 mg/L efisiensi mencapai 99 %.
- e. El Hamouri *et al.* (1994) melakukan penelitian dengan [ammonia] = 39 mg/L; [phosphat] = 12,56 mg/L. Hasil penelitian mampu menurunkan kandungan nitrogen dan fosfat pada air limbah sebesar masing-masing 69 % dan 52 %.
- f. Godos *et al.* (2009) melakukan penelitian pengolahan air limbah kandang babi dengan konsentrasi awal 154 ± 54 mg/L. Sistem HRAP mampu menurunkan konsentrasi TKN sebesar 88 ± 6 %.
- g. Craggs *et al.* (2012) menunjukkan sistem HRAP mampu menurunkan ammonia sebesar 87% dengan konsentrasi influen = $24,2 \pm 9,5$ mg/L.

2.4. Perencanaan Sistem HRAP

Pemodelan matematis untuk perencanaan dan evaluasi kinerja HRAP relatif sangat kompleks. Kriteria perencanaan banyak dihasilkan dari kajian empiris yang bersifat spesifik (Polprasert, 1996). Pemodelan persamaan

matematis sistem HRAP dapat didekati dengan konsep neraca massa untuk bioreaktor aerob tanpa resirkulasi.

2.4.1. Pendekatan Neraca Massa BOD sebagai substrat

Pendekatan neraca massa pada sistem HRAP dapat dilakukan pada dua model bioreaktor. Model pertama HRAP sebagai kolam alga fakultatif. Model kedua HRAP sebagai sebuah reaktor aliran sumbat (*Plug Flow Reactor*) dalam bentuk saluran parit atau *Oxydation ditch*.

1. HRAP sebagai kolam fakultatif (*Facultativ Pond*)

HRAP sebagai kolam fakultatif dianggap sebagai sistem bioreaktor dengan pengadukan sempurna (*completely mixed flow reactor*) tanpa resirkulasi. BOD dan nutrisi diasumsikan terdistribusi secara merata ke seluruh bagian reaktor. Mara (2003) menyatakan bahwa dalam sistem kolam fakultatif, laju konversi atau penurunan BOD umumnya mengikuti reaksi orde satu. Pendekatan neraca massa pada perencanaan kolam fakultatif dapat diturunkan sebagai berikut:

$$BOD_{in} = BOD_{out} + BOD_R \quad (2.16)$$

Secara matematis dapat dinyatakan :

$$Q.S_o = Q.S + V (k.S) \quad (2.17)$$

Bila $V/Q = HRT$, maka persamaan diatas dapat diselesaikan menjadi

$$\frac{S}{S_o} = \frac{1}{1 + KHRT} \quad (2.18)$$

Dengan :

Q = debit air limbah, $m^3/hari$

V = volume HRAP, m^3

S_o = BOD masuk, mg/L

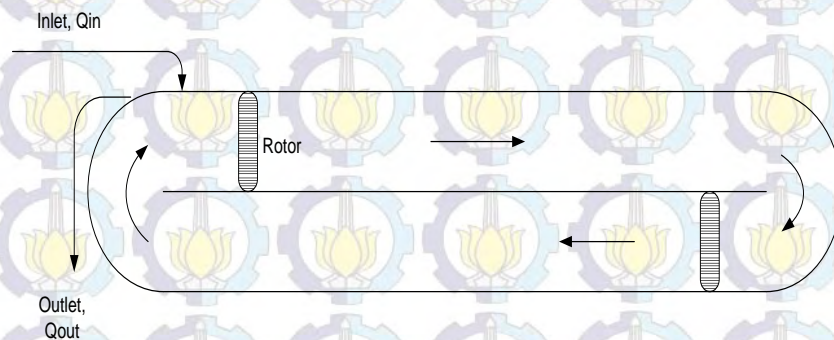
S = BOD keluar, mg/L

$K = k_{20} \Theta^{(T-20)}$, dengan nilai Θ = konstanta Arrhenius, (1,05-1,0)
HRT = waktu tinggal hidraulis, hari

2. HRAP dioperasikan sebagai sistem *Oxydation Ditch*.

Pada pemodelan, sistem HRAP dioperasikan sebagai sistem lumpur aktif menggunakan sistem parit oksidasi (*Oxydation Ditch*) sebagaimana pada Gambar 2.8. Proses yang terjadi pada HRAP berbeda dengan proses lumpur aktif biasa.

Pada sistem HRAP, peran cahaya matahari, kedalaman air, kecukupan nutrisi menentukan pada pertumbuhan alga dan penurunan konsentrasi polutan oleh bakteri. Formulasi desain pada sistem HRAP model *Oxydation Ditch* sama dengan formulasi perencanaan proses lumpur aktif.



Gambar 2.8 Bioreaktor Model *Oxydation Ditch* (parit oksidasi)

Persamaan waktu proses dalam HRAP didasarkan pada kinetika orde satu (Mara, 2003) sebagai berikut :

$$\tau_d = \frac{1}{Y \cdot K_1 \cdot S_e - k_d} \quad (2.19)$$

Dengan : τ_d = waktu detensi

Y = koefisien produksi, mg VSS_p/mg BOD_R

K_1 = Koefisien biodegradasi air limbah, 1/(mg.hari)

$= K_{20} \cdot \alpha^{T-20}$; $1,035 \leq \alpha \leq 1,97$.

S_e = konsentrasi substrat pada efluen, mg/L

k_d = koefisien laju kematian, 1/hari.

Konsentrasi Biomass dalam HRAP dapat diprediksi melalui penggunaan persamaan berikut (Metcalf and Eddy, 2005):

$$X_b = \frac{Y.(S_o - S_e)}{1 + k_d \cdot \tau_d} \quad (2.20)$$

Dengan : X_b = konsentrasi Biomass, mg VSS/L

S_o dan S_e = Konsentrasi BOD pada influen dan efluen.

Koefisien biokinetik sistem alga – bakteri dapat ditentukan dengan pendekatan persamaan neraca massa sistem lumpur aktif non resirkulasi. Nilai Y dan k_d ditentukan menggunakan persamaan 2.21 (Reynolds, 1996):

$$\frac{S_i - S_t}{X_r \theta_i} = \frac{k_e}{Y} + \left(\frac{1}{Y}\right) \frac{1}{\theta_i} \quad (2.21)$$

Nilai koefisien biokinetik ditentukan melalui pembuatan grafik korelasi antara $(S_i - S_t)/X_r \theta_i$ dengan $(1/\theta_i)$. Dimana, S_i dan S_t konsentrasi Substrat pada influen dan efluen; θ_i = waktu tinggal hidrolis dan X_r = konsentrasi biomassa rata.

2.4.2. Kebutuhan Oksigen dan *Mixing* dalam Sistem HRAP

Dalam sistem HRAP bakteri aerob berperan aktif pada penurunan BOD air limbah. Mara (2006) menyatakan kebutuhan oksigen pada kolam aerob dapat didekati dengan persamaan :

$$R_{O_2} = [1,5(S_o - S_e) - 1,42 X]Q \quad (2.22)$$

Dengan :

R_{O_2} = kebutuhan Oksigen untuk menurunkan BOD, kg O_2 /hari

Q = Debit air limbah yang diolah, m^3 /hari.

X = Konsentrasi biomassa aktif dalam sistem HRAP, mg VSS/L

Sebagaimana dijelaskan Polprasert (1996) kecepatan aliran air dalam sistem dijaga dalam kisaran 5-15 m/detik. Kecepatan aliran air dapat diatur dengan memasang *surface aerator* yang berfungsi ganda sebagai suplai oksigen dan *mixing*. Kebutuhan energi untuk *mixing* menurut Mara (2003) diperkirakan sebesar $5W/m^3$ volume air limbah.



BAB 3

METODA PENELITIAN

3.1. Kerangka Penelitian

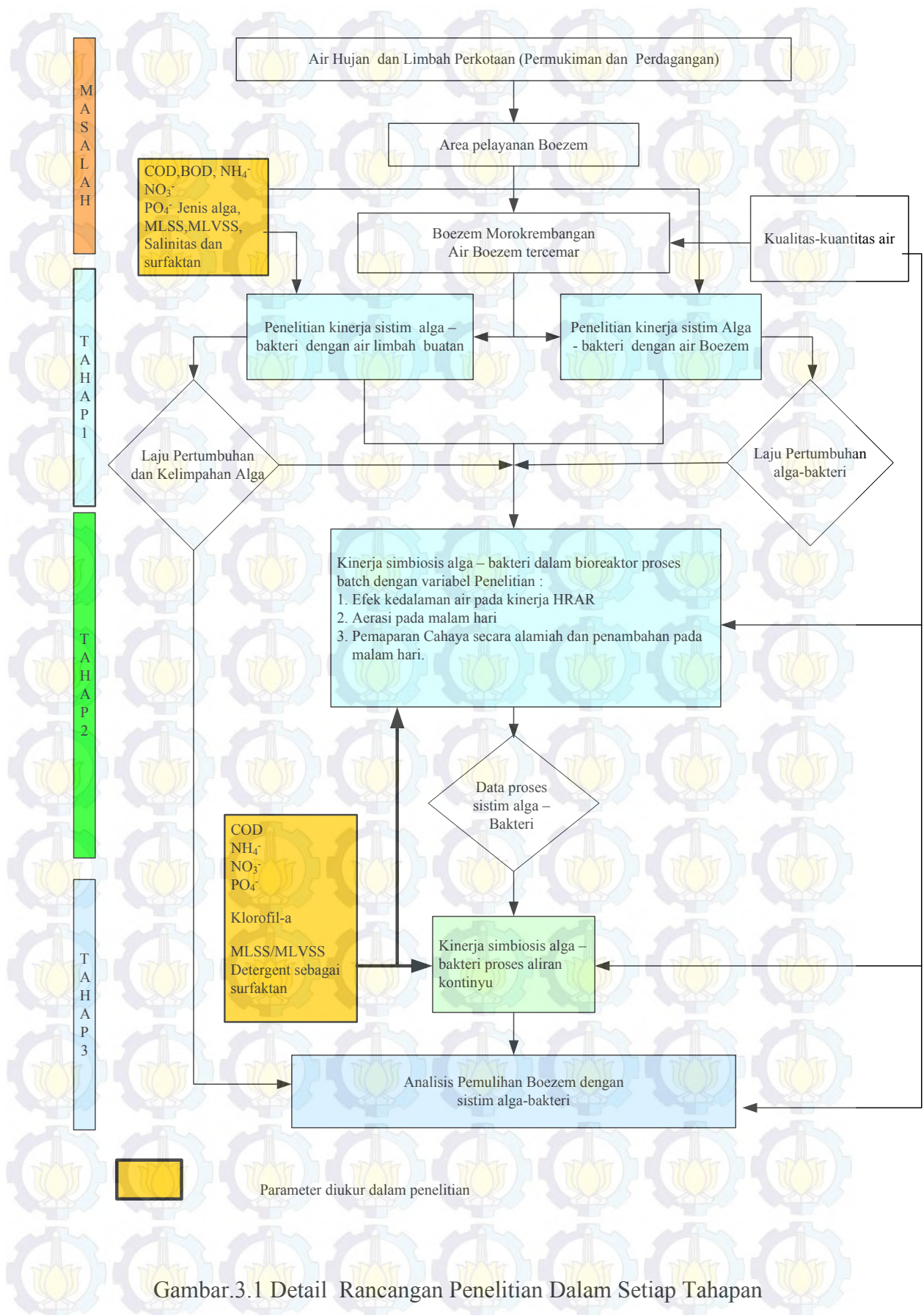
Metodologi penelitian dalam disertasi merupakan gabungan penelitian kuantitatif dan kualitatif dengan pendekatan studi kasus, penelitian lapangan dan skala laboratorium. Metode penelitian untuk mencapai sasaran dalam penelitian dijelaskan dalam Gambar 3.1. Penelitian dilakukan pada beberapa tahapan kegiatan yaitu :

Tahap 1: Penelitian Lapangan pada Karakteristik Air Limbah dan Kinerja Boezem Morokrembangan sisi Selatan

Kegiatan ini meliputi kajian fluktuasi kualitas dan kuantitas air masuk ke dalam Boezem sepanjang dua musim (kemarau dan hujan). Profil sebaran kualitas air (BOD,COD, Angka Permanganat, detergen, DO, N, P), dominasi jenis alga dan kinerja Boezem akibat pencemaran.

Tahap 2: Penelitian HRAP dalam skala laboratorium

Penelitian skala laboratorium tentang kinerja simbiosis alga-bakteri untuk pengolahan air Boezem dilakukan dengan beberapa tahapan percobaan. Percobaan dilakukan dengan variasi faktor-faktor yang berpengaruh pada kinerja sistem HRAP. Pada penelitian skala laboratorium dikaji peran faktor-faktor yang berpengaruh pada laju pertumbuhan sistem alga-bakteri. Kinetika proses sistem alga-bakteri untuk pengolahan air limbah domestik dikaji untuk digunakan pada evaluasi Boezem. Problem dalam sistem kolam alga sering terjadi perbedaan antara konsentrasi DO saat siang dan malam hari. Pada siang hari terjadi kelebihan DO, sedangkan malam hari terjadi proses respirasi yang mengakibatkan defisit oksigen. Penelitian dengan variabel aerasi bertujuan mengkaji pengaruh aerasi pada kinerja sistem alga-bakteri dan stabilitas kandungan DO nya.



Gambar.3.1 Detail Rancangan Penelitian Dalam Setiap Tahapan

Tahap 3: Mengkaji kemampuan sistem alga-bakteri untuk pemulihan kualitas air limbah domestik dalam Boezem berdasarkan hasil penelitian tahap 1 dan 2. Kajian pemulihan dilakukan dengan pendekatan proses biologi pada Boezem sebagai sistem HRAP non resirkulasi.

3.2. Penelitian Lapangan pada Kinerja Boezem Morokrembangan.

Kegiatan di lapangan bertujuan untuk mengkaji kualitas, kuantitas air limbah domestik dan kondisi fisik Boezem. Pengukuran kuantitas dan kualitas influen pada Boezem dilakukan saat musim kemarau dan hujan. Pengulangan dilakukan pada bulan berbeda untuk melihat adanya fluktuasi karakteristik pencemar masuk ke Boezem dan perubahan kinerjanya. Observasi kondisi fisik Boezem meliputi bentuk geometri, pengamatan secara visual profil aliran dan timbunan endapan pada Boezem. Kuantitas atau debit air limbah permukiman diukur pada *inlet* Boezem yaitu pada hilir Kali Greges dan hilir Kali Purwodadi. Pengukuran kualitas air limbah dilakukan pada inlet, outlet dan di beberapa titik dalam Boezem. Parameter kualitas air limbah meliputi konsentrasi TS, TSS, PV, BOD, COD, N-NO_3^- , N-NH_3^+ , $\text{P-PO}_4^{=}$, detergen, phenol dan konsentrasi alga sebagai klorofil-a. Data sekunder meliputi karakteristik fisik Boezem yaitu : bentuk, luasan, lokasi influen dan efluen air limbah domestik. Metode pengukuran kualitas air mengacu Standard Methods, AWWA, 2005 dan SNI (Standar Nasional Indonesia) yang disampaikan pada Lampiran I. Evaluasi kinerja Boezem dilakukan sebanyak 4 kali yaitu tahun 2010; 2011; 2013 dan 2014. Pengulangan penelitian lapangan ditujukan untuk menjawab pertanyaan adakah perbedaan yang signifikan konsentrasi dan beban pencemar pada Boezem. Titik pengambilan contoh untuk pengukuran kualitas air dilakukan pada lima titik sebagaimana di jelaskan pada Gambar 3.2. Koordinat titik pengambilan contoh air :

1. Titik 1 : 7°23'62"S 112°71'51"E
2. Titik 2 : 7°23'20"S 112°71'73"E
3. Titik 3 : 7°23'57"S 112°71'96"E

4. Titik 4 : $7^{\circ}23'21''\text{S}$ $112^{\circ}71'28''\text{E}$
5. Titik 5 : $7^{\circ}23'38''\text{S}$ $112^{\circ}71'94''\text{E}$

3.2.1. Metode Sampling dan Pengukuran Debit.

Pengambilan contoh air dalam Boezem dilakukan secara "grab sampling", pada musim kemarau dan hujan di tahun 2010, 2011, 2013 dan 2014. Titik pengambilan contoh air dipilih pada lokasi yang cukup mewakili kualitas badan air. Pengambilan dan tata cara penyimpanan serta cara pengawetan sesuai petunjuk dalam Standard Methods, AWWA, 2005 dan SNI (Standar Nasional Indonesia). Pengambilan sampel dilakukan pada pagi hari sekitar pukul 07.00 – 10.00 WIB. Dimana, pada jam tersebut diperkirakan terjadi aliran maksimum air limbah domestik di Kali Greges dan Kali Purwodadi.



Gambar 3.2 Lokasi pengambilan contoh air untuk pengukuran kualitas air

Pengukuran debit

Pengukuran debit dilakukan pada titik 1 di Kali Greget, titik 2 outlet Boezem, titik 3 di Kali Purwodadi. Pengukuran menggunakan alat *current meter* Model 201 *Portable Water Current Meter*. Pelaksanaan pengukuran debit air dilakukan pada dua kondisi yaitu saat kemarau dan setelah hujan. Hal ini untuk mengetahui besaran debit air limbah dan limpasan air hujan dari area pelayanan Boezem Morokrengan. Perhitungan debit air digunakan pendekatan dengan rumus 3.1:

$$Q = f (A \times v) \quad (3.1)$$

Dengan :

Q = debit air, m³/detik

A = luas penampang basah saluran, m²

v = kecepatan aliran air, m/detik

f = Faktor koreksi alat *current meter* sebesar 1,2.

3.2.2. Pengolahan data dan Kajian Hasil Penelitian Lapangan.

Data hasil penelitian diolah secara statistik dengan bantuan program Microsoft Excel untuk ditampilkan dalam bentuk tabulasi atau grafik. Data penelitian meliputi parameter TS, TSS, PV, BOD, COD, nitrogen organik dan ammonia, fosfat dalam bentuk orthophosphat. Beban Pencemar dinyatakan dalam satuan massa/hari dari hasil perkalian debit influen Boezem dan konsentrasi zat pencemar. Kinerja Boezem dihitung berdasarkan kemampuan penurunan zat pencemar yang dinyatakan dalam % penyisihan. Selanjutnya berdasarkan data lapangan dihitung kinerja Boezem secara teoritis sebagai kolam stabilisasi dengan menggunakan persamaan 2.20. Kemampuan penyisihan zat pencemar pada Boezem Morokrengan dihitung dengan pendekatan formula berikut.

$$\% R = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \% \quad (3.2)$$

C_0 dan C_e adalah konsentrasi pencemar yang masuk ke dalam Boezem dari Kali Greges dan Purwodadi, sedangkan C_e pada Efluen Boezem menuju Boezem Utara.

C_0 merupakan dihitung terlebih dahulu dengan pendekatan neraca massa berikut :

$$C_0 = \frac{Q_1 \cdot C_1 + Q_2 \cdot C_2}{Q_1 + Q_2} \quad (3.3)$$

Dengan : Q_1 = debit air inlet Purwodadi, m³/detik

C_1 = konsentrasi pada inlet Purwodadi, mg / L

Q_2 = debit air inlet Greges, m³/detik

C_2 = konsentrasi pada inlet Greges, mg /L.

3.2.3. Penelitian Dominasi Mikroalga yang Tumbuh dan Berkembang di dalam Boezem.

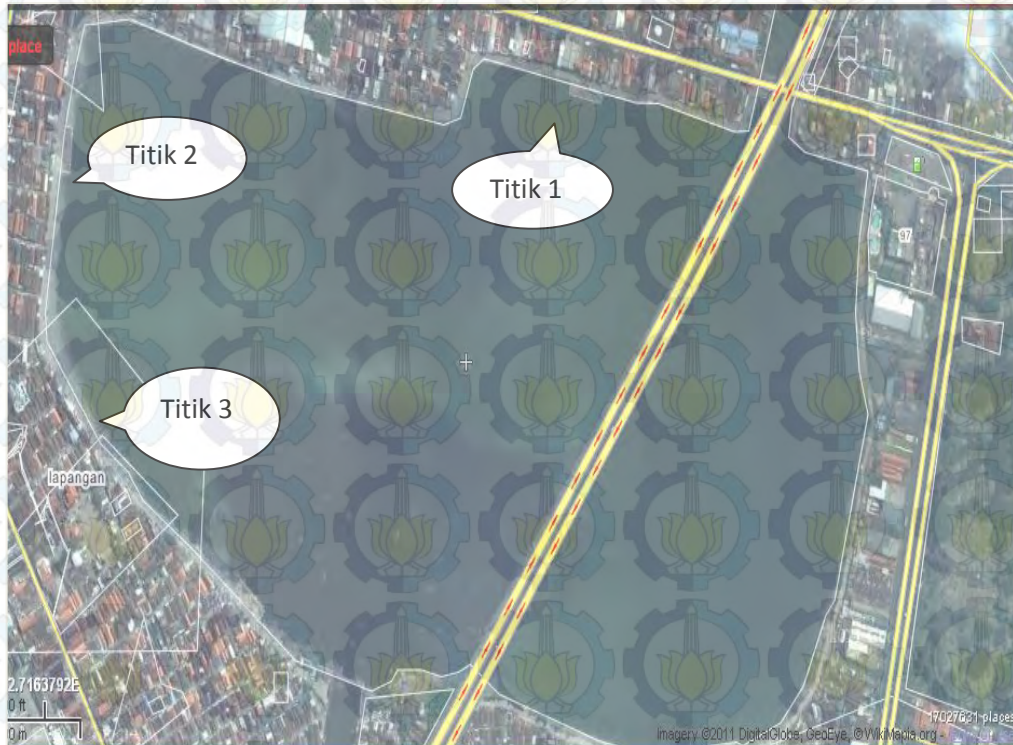
Penelitian genus mikroalga pada Boezem Morokrembangan ditujukan untuk mengetahui dominasi mikroalga yang tumbuh dan berkembang di dalam Boezem. Data ini diperlukan untuk mengetahui spesifikasi spesies alga yang mampu tumbuh dan berkembang dalam air limbah domestik perkotaan. Dominasi spesies alga penting diketahui sebagai bagian perencanaan pengolahan air limbah perkotaan menggunakan sistem HRAP. Sebagaimana diketahui, setiap genus alga hidup dan berkembang sesuai karakteristik air limbah yang berbeda. Pengukuran dilakukan pada musim kemarau, musim transisi antara musim kemarau dan musim penghujan dan terakhir pada musim penghujan. Hal ini, untuk melihat apakah ada perbedaan dominasi alga akibat perubahan musim. Pengambilan sampel populasi mikroalga dilakukan pada tiga titik dijelaskan pada Gambar 3.3.

Koordinat titik pengambilan contoh alga :

- Titik satu pada koordinat 07°14'09.40" LS dan 112°42'53.80" BT
- Titik dua pada koordinat 07°13'56.40" LS dan 112°42'44.90" BT
- Titik tiga pada koordinat 07°13'55.40" LS dan 112°43'03.60" BT

1. Pengambilan Sampel

Populasi mikroalga diambil dengan menggunakan jaring Plankton net dengan ukuran 10 μm , agar diperoleh konsentrat mikroalga yang dapat dianalisis menggunakan mikroskop. Prosedur penggunaan plankton net untuk menjaring plankton baik itu zooplankton maupun fitoplankton, dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :



Gambar 3.3 Titik Pengambilan contoh untuk penelitian dominasi mikroalga

1. Dengan memasukkan langsung plankton net ke dalam danau/air laut dan mendingkan plankton net didalam air selama satu menit kemudian menariknya kembali. Setelah itu, plankton net disemprot dengan air sampel agar alga yang terperangkap di dalam jala turun ke dalam botol sampel.
2. Cara kedua dapat dilakukan dengan mengambil air sampel, menuangkannya ke dalam plankton net hingga tiga kali. Kemudian plankton net disemprot dengan air sampel untuk melepaskan alga agar masuk ke dalam botol sampel yang disediakan. Pengambilan contoh harus diulang sebanyak tiga kali untuk mendapatkan hasil tangkapan alga yang optimal.

2. Identifikasi Alga

Identifikasi jenis alga dilakukan dengan pengamatan menggunakan mikroskop terhubung dengan layar monitor. Gambar di layar monitor selanjutnya diidentifikasi menggunakan literatur/database alga yang telah ada. Perhitungan jumlah sel/koloni alga dilakukan dengan metode *counting chamber* (*Sedgwick Rafter slide*). Pelaksanaan identifikasi dan perhitungan genus sel alga dilaksanakan oleh Laboratorium Ekologi Jurusan Biologi FMIPA - ITS.

2.2. Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil penelitian diolah dan dilakukan seleksi untuk analisis yang dilakukan dengan cara:

- Pemilahan data dan analisis secara statistik

Hasil penelitian lapangan diolah lebih lanjut untuk mengetahui besaran beban pencemar dan kinerja eksisting Boezem baik saat kemarau dan hujan. Data dihitung secara statistik untuk mengetahui nilai rerata dan besaran simpangannya.

- Tabulasi dan Grafik

Hasil analisis data ditampilkan dalam bentuk tabulasi dan grafik menggunakan software program Excel.

3.3. Penelitian HRAP dalam Skala Laboratorium

Penelitian ini termasuk eksperimen murni yang dilakukan di laboratorium. Penelitian bertujuan untuk mengetahui berbagai faktor lingkungan berpengaruh pada kemampuan sistem alga - bakteri dalam mengolah air limbah domestik. Air limbah domestik diambil dari Boezem Morokembangan sisi selatan. Penelitian dilakukan dalam 2 tahap yaitu percobaan secara *batch* proses dan dengan aliran kontinyu. Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap penelitian dengan variabel penelitian antara lain :

1. Penelitian proses *batch* kinerja sistem alga - bakteri dalam HRAR (*High Rate Algae Reactor*). Variabel penelitian antara lain kedalaman air, waktu pencahayaan, penambahan aerasi, pengkayaan konsentrasi zat organik dan nutrien, pH dan salinitas.
2. Penelitian sistem HRAR skala *pilot plant* dengan aliran kontinu berbasis hasil penelitian proses *batch*.

3.3.1. Penelitian Sistem Alga - Bakteri dalam Reaktor Proses *Batch*.

Penelitian kinerja sistem alga-bakteri dilakukan dengan pendekatan rekayasa perpanjangan waktu pencahayaan, penambahan aerasi dan efek kedalaman air. Parameter proses yang diukur meliputi konsentrasi PV; COD; MLSS, MLVSS; khlorofil-a; intensitas cahaya; DO, temperatur, pH. Variabel penelitian perpanjangan pencahayaan dilakukan dengan pencahayaan alami dan penambahan cahaya artifisial di malam hari. Kedalaman air dalam HRAR ditetapkan berdasarkan pada hasil dari peneliti terdahulu (Polprasert, 1996). Aerasi dilakukan dengan menambahkan udara pada saat malam hari dan aerasi selama 24 jam. Penelitian dilakukan dalam dua tahap kegiatan yaitu:

- a. Tahap pertama penelitian pendahuluan dilakukan untuk menentukan konsentrasi COD awal air limbah yang akan dimasukkan ke dalam HRAR. Penelitian dilakukan sampai kondisi *steady* dengan menganalisis seluruh parameter uji setiap hari. Penelitian dilakukan dengan menggunakan kultur alga dari Boe-zem Morokrembang.
- b. Tahap kedua penelitian dengan variabel percobaan sebagaimana direncanakan menggunakan kultur alga dari Boezem yang telah dikembangkan dalam skala laboratorium.

Penelitian pendahuluan dilakukan sebagai bagian dari *finding test* untuk mencari berapa besar konsentrasi COD dan nutrien maksimum dapat ditoleransi. Penelitian diawali dengan uji aklimatisasi dilanjutkan dengan pelaksanaan

percobaan sesuai variabel yang ditetapkan. Percobaan dilakukan dalam 6 buah bejana kecil, dimana 2 bejana sebagai kontrol, 4 bejana diberi perlakuan variasi percobaan. Variasi percobaan dilakukan dengan konsentrasi COD yang berbeda yaitu ± 100 mg/L, ± 150 mg/L, ± 200 mg/L dan ± 250 mg/L. Konsentrasi COD, N dan P dibuat dengan menambahkan glukosa dan urea. Penambahan glukosa dan urea mengacu pada hasil perhitungan teoritis dengan konsentrasi N dan P memenuhi kebutuhan untuk persyaratan pertumbuhan alga. Lumpur dari Boezem ditambahkan sebagai representasi kondisi Boezem, diperkirakan mengandung bakteri dan zat organik *biodegradable*. Bioreaktor kontrol dioperasikan dengan konsentrasi COD ± 250 mg/L, ditambah lumpur sebanyak 5 % volume tanpa penambahan benih alga. Sedang bioreaktor kontrol ke 2 ditambahkan alga tanpa penambahan lumpur. Pada ke 4 bioreaktor uji ditambahkan lumpur sebanyak 5 % volume dan alga dan volume air Boezem sebanyak 70 %, 50 % dan 25 %. Penelitian efek kedalaman air dilakukan dengan variasi kedalaman air 25 cm, 40 cm, 50 cm, dan 60 cm. Sedangkan dua reaktor kontrol dikondisikan dengan kontrol lumpur dan kontrol alga dengan kedalaman 25 cm. Pelaksanaan percobaan dijelaskan dalam Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Pelaksanaan percobaan pendahuluan (a) percobaan variasi konsentrasi, (b) percobaan variasi kedalaman

3.3.2. Penelitian Kinerja HRAR Proses secara *Batch*

3.3.2.1. Penelitian Pengaruh Waktu Pencahayaan, Aerasi dan Kedalaman Air pada Kinerja Sistem Alga – Bakteri.

Penelitian bertujuan mengkaji pengaruh waktu pencahayaan, kedalaman air dan aerasi pada kinerja sistem alga - bakteri. Penelitian dilaksanakan dalam dua kelompok pengujian. Kelompok uji pertama dengan variabel kedalaman berbeda dan kelompok kedua dengan variabel kedalaman air yang sama.

1. Peralatan Percobaan Penelitian :

Material bioreaktor dibuat dari bahan kaca yang dirancang berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang sebesar 100 cm dan lebar 30 cm.

2. Sketsa rancangan bioreaktor dan pelaksanaannya di jelaskan dalam Gambar

3.5. Variabel Penelitian

a. Kedalaman Air dalam bioreaktor

Variasi kedalaman air untuk penelitian dibuat dalam dua kelompok yaitu

1. Kelompok pertama dengan variasi kedalaman air 25 cm, 40 cm dan 60 cm. Masing-masing variabel kedalaman dibuat 2 buah yang diberi perlakuan pencahayaan yang berbeda.
2. Kelompok kedua dengan kedalaman air sama 30 cm. Dimensi bioreaktor P x L x H = 107 cm x 67 cm x 25 cm

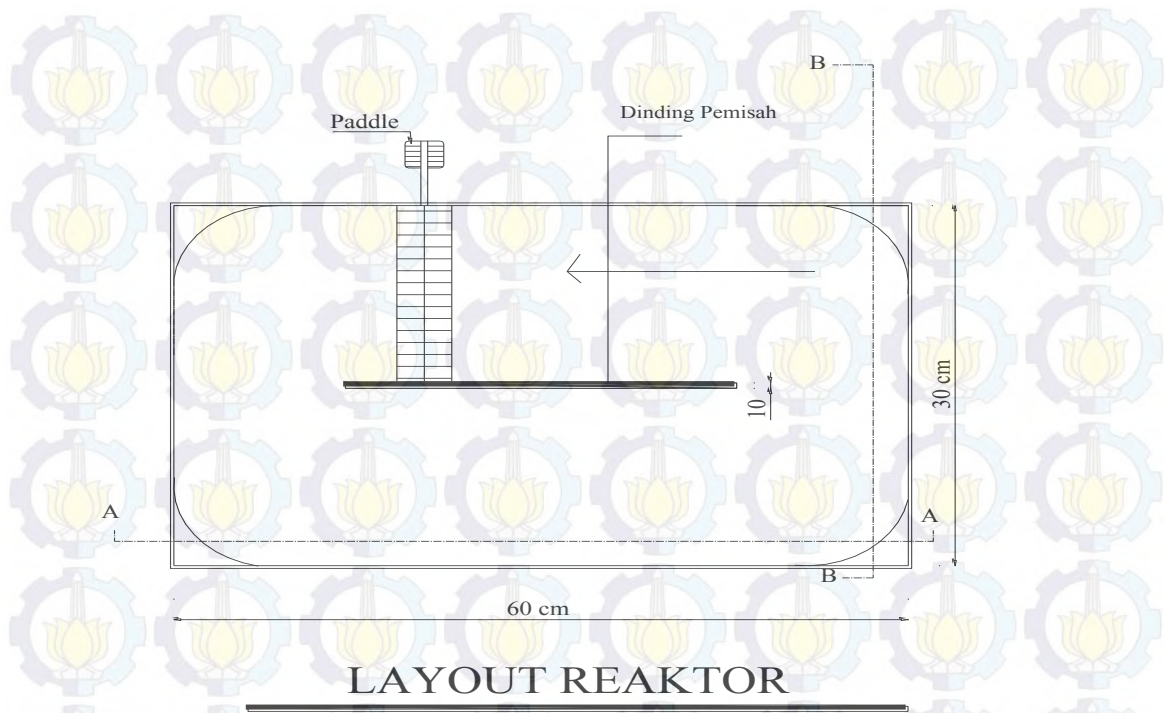
b. Pencahayaan

Pencahayaan selama 24 jam dilakukan dengan penambahan pencahayaan artifisial selama 12 jam malam hari. Pencahayaan artifisial digunakan lampu khusus untuk pertumbuhan tanaman di dalam ruangan yaitu Osram Fluora. Penambahan lampu berfungsi untuk memaksa alga agar melakukan fotosintesis di saat malam hari. Spesifikasi pencahayaan artificial disesuaikan dengan kebutuhan intensitas cahaya untuk fotosintesis alga. Kriteria kebutuhan cahaya adalah sebagai berikut (Polprasert, 1996):

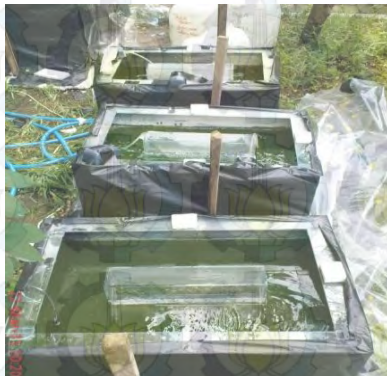
$\text{Lux} = \text{lumen/m}^2$; 1 ft-candle = 10.764 lux

Chlorella vulgaris = 250 ft-candle = 2.691 lux

Chlorella pyrenoidosa = 500 ft-candle = 5.382 lux.



(a)



(b)

Gambar 3.5 (a) Sketsa Reaktor, (b) Bioreaktor dalam Percobaan

c. Aerasi

Variasi aerasi pada percobaan ini dilaksanakan pada uji kelompok ke dua dengan kedalaman sama. Aerasi dilakukan pada malam hari untuk menjaga kebutuhan oksigen saat alga dan bakteri secara bersama melakukan respirasi. Aerasi dilakukan selama 12 jam mulai jam 18.00 sampai dengan jam 06.00.

d. Waktu detensi

Penelitian dibagi dalam 3 *batch* waktu detensi secara *intermitten* yaitu, 4 hari, 6 hari, dan 8 hari. Penelitian untuk waktu detensi 4 dan 6 hari dilaksanakan dalam 3 pengulangan waktu operasi. Sedangkan waktu detensi 8 hari dengan pengulangan sebanyak 2 Kali. Pada setiap waktu pengoperasian, volume air dikeluarkan sebanyak 25% dan diganti air limbah baru dengan volume sama.

3. Pengambilan Contoh Hasil Penelitian

Pengambilan contoh air limbah dilakukan sebanyak 2 (dua) Kali dalam satu hari, yaitu saat senja dan saat malam hari. Hal ini ditujukan untuk melihat pengaruh pencahayaan alami, artifisial dan penambahan aerasi di malam hari pada kinerja alga-bakteri.

4. Parameter yang di analisis

Parameter kualitas air yang dianalisis dalam penelitian : TSS, TS, TVSS, COD, PV, MLSS, MLVSS, Nitrogen, Phosphat, Detergen, Klorofil-a, DO, pH, dan intensitas cahaya. Analisa kualitas air dilakukan untuk mengukur konsentrasi zat terlarut, dengan melakukan penyaringan terlebih dahulu menggunakan kertas *Whatman 42*.

5. Metode analisis parameter dan bahan penelitian :

Metode pengukuran kualitas air mengacu *Standard Methods*, AWWA, 2005 dan SNI (Standar Nasional Indonesia). Jenis reagen kimia yang diperlukan disampaikan pada Lampiran I.

6. Analisis Data

Data hasil penelitian diseleksi dan diolah untuk analisis korelasi antar variabel percobaan dan perhitungan koefisien – koefisien biokinetik yang diperlukan. Analisis data dilakukan dengan cara:

- Pemilahan data dan analisis secara statistik

Hasil data primer dari penelitian diolah lebih lanjut untuk mengetahui hubungan kondisi proses dalam bioreaktor dengan variabel-variabel uji dengan metode statistik.

- **Tabulasi dan Grafik**

Model pertumbuhan alga dan bakteri dicari dengan membuat kurva standar non linear dalam bentuk kurva logistik atau sigmoid. Tabulasi dan grafik untuk mengetahui pola kinerja/kemampuan sistem alga - bakteri pada penyisihan bahan pencemar dengan bantuan software Excell.

- **Uji Korelasi antar parameter**

Uji korelasi dilakukan untuk mengetahui hubungan data yang didapatkan dari variabel dengan parameter-parameter uji dan pola hubungan antar perlakuan percobaan. Uji korelasi dilakukan untuk menguji pengaruh antar variabel penelitian terhadap kinerja sistem alga - bakteri. Pengolahan data dilakukan dengan bantuan software Excell dan Minitab 16.

3.3.2.2. Penelitian Pengaruh Salinitas Pada Kinerja HRAR Proses *Batch*

Tingkat salinitas air Boezem Morokrembangan dipengaruhi oleh pasang surut pantai karena berada diwilayah pesisir utara Kota Surabaya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh salinitas air pada laju pertumbuhan alga dan kinerja sistem alga - bakteri sebagai pengolah air limbah. Pada akhir penelitian akan diperoleh informasi parameter kinerja sistem alga - bakteri dalam media dengan salinitas lebih tinggi. Penentuan konsentrasi nutrisi berdasarkan *Redfield Ratio* (Rasio optimum pertumbuhan alga), yaitu C:N:P sebesar 106:16:6. Rasio tersebut digunakan untuk variasi pertama, sedangkan variasi ke-2 dan ke-3 konsentrasi nutrisi ditingkatkan dengan konsentrasi C sebagai COD. Garam KNO_3 , KH_2PO_4 dan sakarosa ditambahkan untuk meningkatkan konsentrasi N, P, dan COD.

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab pertanyaan bagaimana bila terjadi lonjakan konsentrasi zat organik, nutrisi dan kenaikan tingkat salinitas air limbah. Alga dan bakteri secara alamiah bersimbiosis saling menguntungkan. Sehingga diperkirakan pertumbuhan bakteri akan mempengaruhi pertumbuhan alga, begitu juga sebaliknya. Banyak faktor yang mempengaruhi pertumbuhan sistem alga – bakteri antara lain pH, suhu, intensitas cahaya dan salinitas air

limbah. Peningkatan kadar salinitas air limbah diperkirakan akan mempengaruhi performa sistem alga - bakteri dalam mengolah air limbah.

1. Variabel penelitian

Variabel pada penelitian ini dibedakan menjadi :

- (a) Variabel bebas (*independent variable*) yaitu perbedaan pH, Salinitas dan konsentrasi COD, N dan P saat awal percobaan.
- (b) Variabel terikat (*dependent variable*) pada penelitian ini adalah perubahan konsentrasi alga, konsentrasi MLSS.
- (c) Variabel kendali atau variabel kontrol, meliputi pH dan Salinitas air Boezem.

Variabel percobaan adalah konsentrasi bahan organik, tingkat salinitas, konsentrasi nutrisi dan pH. Konsentrasi bahan organik divariasikan pada tiga level yaitu 75,5; 179,4 dan 232 mg/L berdasarkan nilai konsentrasi air limbah domestik influen Boezem. Variabel lingkungan pertumbuhan salinitas dan pH untuk mengetahui apakah kondisi lingkungan berpengaruh pada kinerja alga-bakteri. Parameter yang dianalisa meliputi konsentrasi COD, klorofil-a, MLVSS, TKN, N-NH₃, N-NO₃, N-NO₂, Fosfat, pH, DO, suhu, dan salinitas.

2. Peralatan dan Bahan penelitian :

Peralatan yang dipergunakan untuk percobaan berupa bejana plastik dengan volume 10 liter sebagaimana dicontohkan dalam Gambar 3.4. Jenis metode pengukuran kualitas air mengacu Standard Methods, AWWA, 2005 dan SNI (Standar Nasional Indonesia) disampaikan pada Lampiran I.

3. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian diawali dengan pengambilan kultur alga pada badan perairan yang berwarna hijau di Boezem Morokrembangan. Selanjutnya kultur alga dikembangkan dalam reaktor dengan media buatan, komposisi 25% kultur alga dan 75% media tumbuh mikroalga. Konsentrasi nitrogen dan fosfat yang digunakan, masing-masing 8,3; 24,67; 41,01 mg/L dan 0,35; 0,98; 1,6 mg/L. Nutrien dinaikkan dengan cara menambahkan NH₄Cl, KNO₃ sebagai sumber N

dan KH_2PO_4 sebagai sumber PO_4 , sedangkan COD dengan menambahkan sakarosa. Hasil perhitungan konsentrasi COD, NH_4Cl , KNO_3 , dan KH_2PO_4 dijelaskan pada Tabel 3.1. Variasi pH yang digunakan adalah 4, 5; 6; dan 9. Variasi dipilih berdasarkan studi literature yang menyebutkan spesies *Chlorella ellipsoidea* dapat tumbuh pada rentang pH 4-10. Sedangkan spesies alga biru hijau lebih menyukai kondisi basa, yaitu pada rentang pH antara 7,7-9,4 (Wang *et al.*, 2011). Secara umum pH optimum untuk pertumbuhan alga adalah ± 8 (Park *et al.*, 2011a). Variasi pH dimaksudkan untuk mengetahui apakah alga dapat bertahan dan tumbuh dengan baik bila terjadi perubahan pH di lingkungannya. Pada penelitian ini, tingkat salinitas dirancang sebesar 0,8 ppt dan 1,5 ppt untuk setiap Variasi konsentrasi COD. Variasi salinitas ditetapkan berdasarkan pada hasil pengukuran di Boezem Morokrembangan, Boezem Kalidami, dan Boezem Wonorejo Rungkut.

Tabel .3.1. Konsentrasi COD dan Nutrien yang Digunakan dalam Pelaksanaan Penelitian

Konsentrasi Nutrien	Konsentrasi COD (mg/L)	Konsentrasi Ammonium (mg/L)	Konsentrasi Nitrat (mg/L)	Konsentrasi Phosphat (mg/L)
Konsentrasi A	75,5	6,40	1,90	0,35
Konsentrasi B	179,4	19,13	5,54	0,98
Konsentrasi C	232,0	31,80	9,21	1,60

Penetapan tingkat salinitas mengacu pada rentang nilai salinitas dari hasil pengukuran lapangan. Percobaan penelitian dilengkapi dengan reaktor kontrol tanpa variasi pH dan salinitas untuk semua variabel COD dan nutrien. Reaktor kontrol digunakan sebagai pembanding terhadap reaktor lain. Sehingga dapat diketahui pengaruh variabel pH dan salinitas terhadap laju pertumbuhan alga. Reaktor terbuat dari plastik dengan volume 10 L, volume ini diperhitungkan dapat memenuhi kebutuhan contoh air untuk dianalisa. Reaktor dilengkapi dengan pompa *submersible* untuk *mixing* dan menghomogenkan alga di dalam reaktor dan

menghindari terjadinya pengendapan alga. Moda percobaan yang direncanakan ditunjukkan dalam Tabel 3.2. Lama percobaan ditetapkan selama 14 hari, dengan pengambilan sampel tiap reaktor dilakukan 1 kali pada pagi hari. Penetapan waktu 14 hari mengacu pada hasil penelitian terdahulu bahwa konsentrasi klorofil-a mulai mengalami penurunan pada hari ke-14. Selain itu pada hari ke-14, pertumbuhan telah memasuki fase stasioner. Woertz *et al.*, (2009a) menyatakan penurunan ammonium dan fosfat pada air limbah mencapai 96% dan > 99% setelah 12 hari. Ilustrasi pelaksanaan penelitian ditunjukkan dalam Gambar 3.6

Tabel 3.2. Pembagian Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu pelaksanaan	Variasi Konsentrasi	Salinitas (ppt)	Nilai pH		
			4,5	6	9
I	A	0,8	Reaktor A	Reaktor B	Reaktor C
		1,5	Reaktor D	Reaktor E	Reaktor F
II	B	0,8	Reaktor A	Reaktor B	Reaktor C
		1,5	Reaktor D	Reaktor E	Reaktor F
III	C	0,8	Reaktor A	Reaktor B	Reaktor C
		1,5	Reaktor D	Reaktor E	Reaktor F



Gambar 3.6 Ilustrasi Pelaksanaan Penelitian

4. **Metoda Analisis Parameter Penelitian.**

Sampel yang telah diambil dari reaktor setiap pagi hari, kemudian dianalisa kandungan COD, klorofil-a, MLVSS, TKN, Nitrogen-ammonium, Nitrogen-nitrat, Nitrogen-nitrit, Phosphat, DO, suhu, pH, dan salinitas. Metode analisa dan jenis bahan kimia untuk analisa parameter penelitian disampaikan pada Lampiran I.

5. **Analisis Data**

Data hasil penelitian selanjutnya dianalisis dan dihitung nilai koefisien aktifitas biomassa yaitu μ , μ_{\max} , Y, dan K_s . Laju pertumbuhan spesifik (μ), pertumbuhan maksimum (μ_{\max}) dan koefisien *half saturation* (K_s) merupakan parameter penting untuk penentuan laju pertumbuhan. Koefisien produksi (Y) menggambarkan rasio produksi biomassa dan jumlah senyawa organik dikonsumsi oleh mikroorganisme. Analisis pengaruh variasi penelitian terhadap laju pertumbuhan alga dilakukan dengan cara membandingkan nilai laju pertumbuhannya terhadap tiap-tiap variabel percobaan. Analisis data diawali dengan pengolahan data. Data primer hasil penelitian diolah untuk mencari hubungan kondisi proses dalam bioreaktor dengan variabel-variabel uji. Selanjutnya model pertumbuhan alga dan bakteri dicari dengan membuat kurva standar non linear dalam bentuk kurva logistik atau sigmoid. Hasil ditampilkan dalam bentuk tabulasi dan grafik untuk mengetahui pola kinerja/ kemampuan sistem alga-bakteri. Pengolahan data dilakukan secara statistik dengan bantuan software Excell.

3.3.3. **Penelitian Sistem HRAR Aliran Kontinyu dengan Air Limbah Boezem Morokrembangan.**

Penelitian ditujukan untuk mengkaji kinerja sistem alga-bakteri dalam HRAR aliran kontinyu dengan air limbah domestik di Boezem Morokrembangan. Data penelitian dipergunakan untuk menentukan nilai konstanta biokinetik system

HRAR aliran kontinyu. Sehingga bisa dianalisis adakah perbedaan nilai koefisien pada proses secara *batch* dan proses dengan aliran kontinyu. Penelitian diawali dengan uji karakteristik air Boezem untuk verifikasi rasio COD : N : P dan proses aklimatisasi. Karakteristik air limbah yang dianalisis meliputi rasio COD : N : P. Konsentrasi Nitrogen (N) dianalisis sebagai Ammonia dan Nitrat sedangkan konsentrasi ortho phosphat (P-PO₄). Konsentrasi senyawa organik sebagai COD dan alga diukur sebagai klorofil-a. Selanjutnya rasio COD : N : P air Boezem dipakai sebagai acuan untuk pembuatan air limbah buatan. Air limbah buatan dibuat dengan menambahkan sumber carbon dari larutan gula, N dan P dari pupuk urea pada air Boezem.

1. Variabel penelitian

Variabel penelitian untuk penelitian tahap ini adalah waktu kontak 2, 4 dan 6 hari, dengan pencahayaan alami. Variasi debit influen ke reaktor diatur agar diperoleh waktu detensi rerata sebesar 2, 4 dan 6 hari.

2. Peralatan dan bahan penelitian

Benih alga dan air limbah domestik yang dipergunakan untuk percobaan diambil dari Boezem Morokrembangan bagian selatan. Rasio COD : N : P air limbah diatur dengan penambahan sumber karbon dari sakarosa dan garam urea. Reaktor didesain dengan model *Oxidation Ditch* dengan kedalaman air diatur sebesar 40 cm. Kedalaman air ditentukan berdasarkan hasil penelitian proses *batch* berkisar (0,3-0,6) m. Polprasert, 1996 menyebutkan kedalaman *pond* yang optimum pada kisaran 40-50 cm. Reaktor dibuat sebanyak tiga buah dengan dimensi panjang x lebar sebesar 150 cm x 75 cm. Model reaktor dijelaskan dalam Gambar 3.7. Pada pelaksanaan penelitian kapasitas bak dihitung berdasarkan debit air limbah yang dibutuhkan untuk mencapai waktu detensi yang direncanakan. Kapasitas bak penampung minimum 520 liter, sudah cukup untuk kebutuhan operasional selama 1 hari. Konsentrasi air limbah yang digunakan yaitu COD sebesar $\pm 108,64$ mg/L, N-NH₄⁺ sebesar $\pm 9,85$ mg/L, dan P-PO₄³⁻ sebesar $\pm 1,56$ mg/L.

3. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan mengalirkan air limbah secara kontinyu dan debit tertentu. Debit diatur dengan mengatur bukaan katub yang sebelumnya telah dikalibrasi untuk mencapai HRT atau t_d yang direncanakan. Stabilitas debit diatur dengan menjaga level muka air pada reservoir yang dilengkapi dengan pelimpah dan pompa resirkulasi. Sampel air limbah diambil di efluen HRAR setiap pagi dan sore hari. Sedangkan sampel air limbah pada influen diambil satu hari satu kali. Pengambilan sampel sebanyak dua kali per hari dimaksudkan untuk mengetahui kinerja HRAR pada malam dan siang hari.

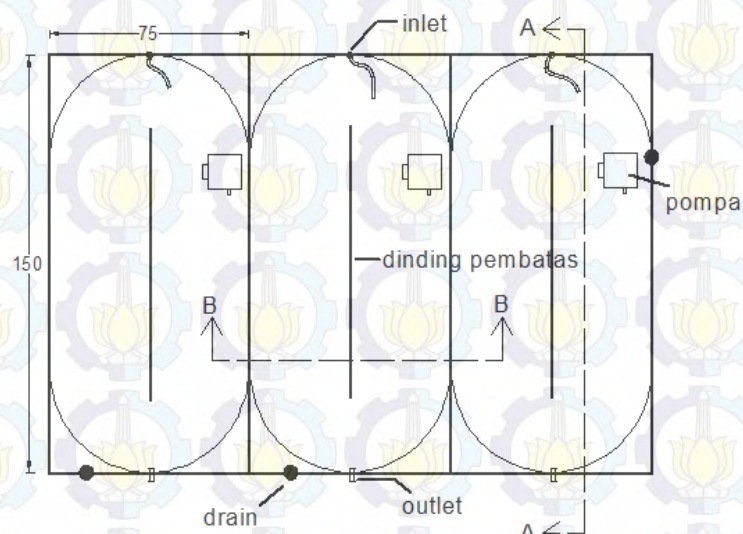
4. Metoda Analisis Parameter Penelitian

Sampel yang diambil dari reactor saat pagi hari, kemudian dianalisa kandungan COD, klorofil-a, MLVSS, TKN, Nitrogen-Ammonium, Nitrogen-Nitrat, Nitrogen-Nitrit, Phosphat, diukur nilai DO, suhu, dan pH. Metode analisa dan jenis bahan kimia untuk analisa parameter penelitian dijelaskan dalam lampiran I.

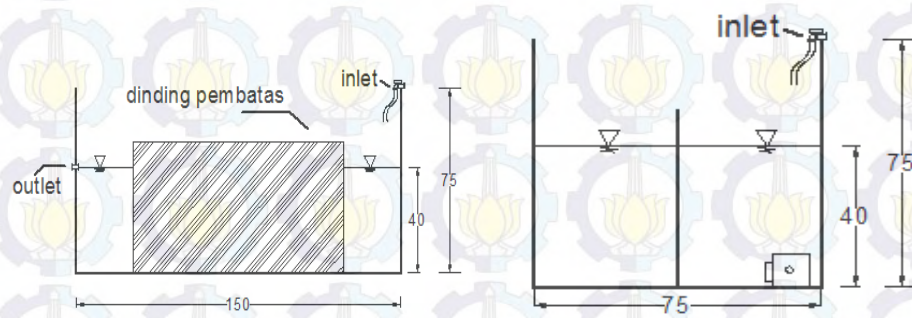
5. Analisis data

Data hasil percobaan diolah dan dilakukan seleksi untuk analisis korelasi antar variabel percobaan dan perhitungan koefisien – koefisien biokinetik yang diperlukan. Analisis data dilakukan dengan cara:

- **Pengolahan data secara statistik**
Hasil data primer dari penelitian diolah lebih lanjut untuk mengetahui hubungan kondisi proses dalam bioreaktor dengan variabel-variabel uji menggunakan software Excell.
- **Tabulasi dan Grafik**
Model pertumbuhan alga dan bakteri dicari dengan membuat kurva standar non linear dalam bentuk kurva logistic atau sigmoid. Tabulasi dan grafik untuk mengetahui pola kinerja / kemampuan sistem bioreaktor untuk penyisihan bahan pencemar. Pengolahan data dilakukan dengan bantuan software Excell.



(a) Tampak Denah



(b) Tampak Samping dan tampak Depan



(c)

Gambar 3.7 (a) dan (b) rancangan reaktor, (c) Percobaan sistem HRAR

3.3.4. Penambahan Bakteri pada sistem HRAR Aliran Kontinyu Untuk penurunan Detergen pada Air Limbah Domestik Perkotaan

Penelitian ditujukan untuk melihat pengaruh penambahan bakteri pada kinerja alga-bakteri untuk penurunan detergen air limbah dari Boezem. Penelitian diawali dengan penyiapan biakan alga dan bakteri. Bibit alga dari Boezem dibiakkan dengan penambahan sumber karbon dan nutrisi setiap interval waktu tertentu. Pembiakan dilakukan dengan cara menambahkan nutrisi berupa pupuk urea secukupnya dan dilakukan *mixing* menggunakan pompa. Proses pembiakan alga ini dilakukan kurang lebih selama 3 hari hingga konsentrasi klorofil-a awalnya minimum $\geq 0,25$ mg/L. Bakteri dibiakkan dengan benih dari air Boezem, disuplai sumber karbon dan nutrisi, diaerasi kontinyu selama 24 jam. Pembiakan bakteri memerlukan waktu yang lebih lama dari alga, sekitar satu bulan agar diperoleh biakan dengan jumlah yang cukup. Setelah bakteri terlihat telah tumbuh cukup banyak, larutan bakteri diambil dari bak biakannya untuk kemudian diekstrak menggunakan *centrifuge* selama 15 menit dengan kecepatan 500 rpm sampai diperoleh volume ekstrak sebanyak yang diperlukan. Ekstrak bakteri ditunjukkan pada Gambar 3.8. Penelitian diawali dengan penambahan benih alga dan bakteri ke dalam HRAR. Sebelum ditambahkan biakan alga diaduk sempurna agar konsentrasi klorofil-a awal untuk semua reaktor sama. Penambahan bakteri dilakukan bersamaan dengan penambahan benih alga. Sistem alga - bakteri diaduk menggunakan pompa *submersible*.

1. Variabel penelitian

Variabel percobaan dalam penelitian dibedakan :

- (a) Variabel bebas yaitu volume ekstrak bakteri yang ditambahkan, waktu detensi, dan konsentrasi awal COD air limbah.
- (b) Variabel terikatnya adalah konsentrasi klorofil-a dan konsentrasi MLVSS, perubahan konsentrasi COD terlarut dan deterjen pada efluen HRAR.

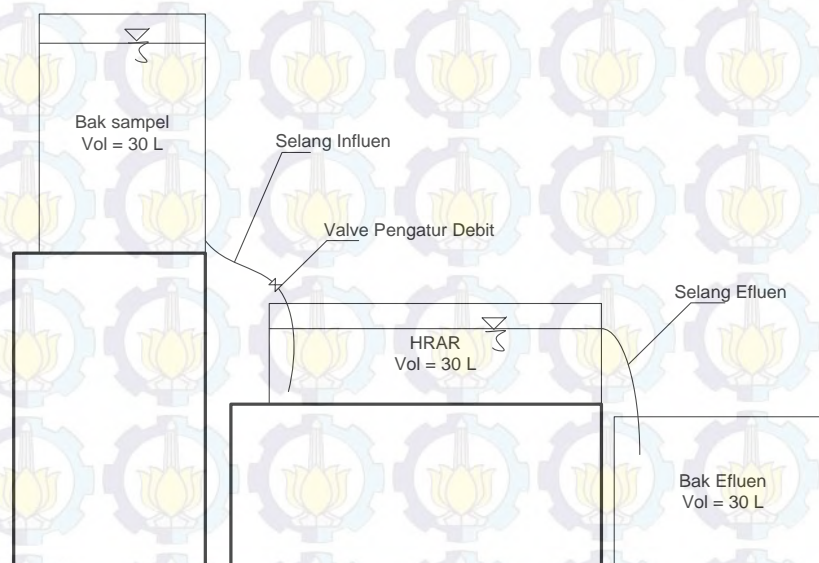
2. Peralatan dan bahan penelitian

Percobaan menggunakan air Boezem yang ditingkatkan nilai COD nya dengan penambahan larutan gula. Reaktor HRAR terbuat dari bahan plastik transparan dengan panjang 50 cm, lebar 30 cm, dan kedalaman 30 cm, dengan volume

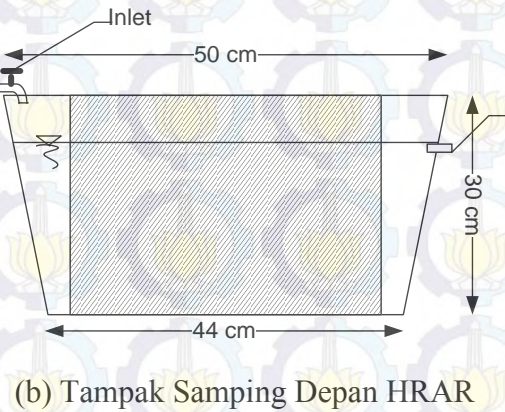
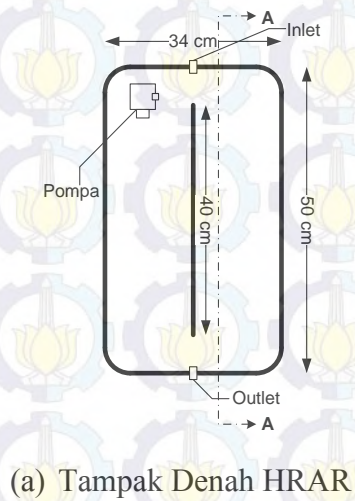
isian direncanakan sebanyak 30 L. Diagram alir penelitian dalam penelitian ini dijelaskan dalam Gambar 3.9. Gambar 3.10 menjelaskan sketsa HRAR dan impementasinya. Sistem dioperasikan dengan debit berbeda untuk mendapat waktu tinggal hidrolis yang berbeda. Waktu tinggal hidrolis direncanakan 12; 24; 36 dan 48 jam.



Gambar 3.8 Contoh Ekstrak Bakteri yang Siap Digunakan



Gambar 3.9 : Ilustrasi Penelitian HRAR Aliran Kontinyu ke 2



Gambar 3.10 Desain dan pelaksanaan percobaan HRAR aliran kontinyu ke 2.

3. Pelaksanaan Penelitian

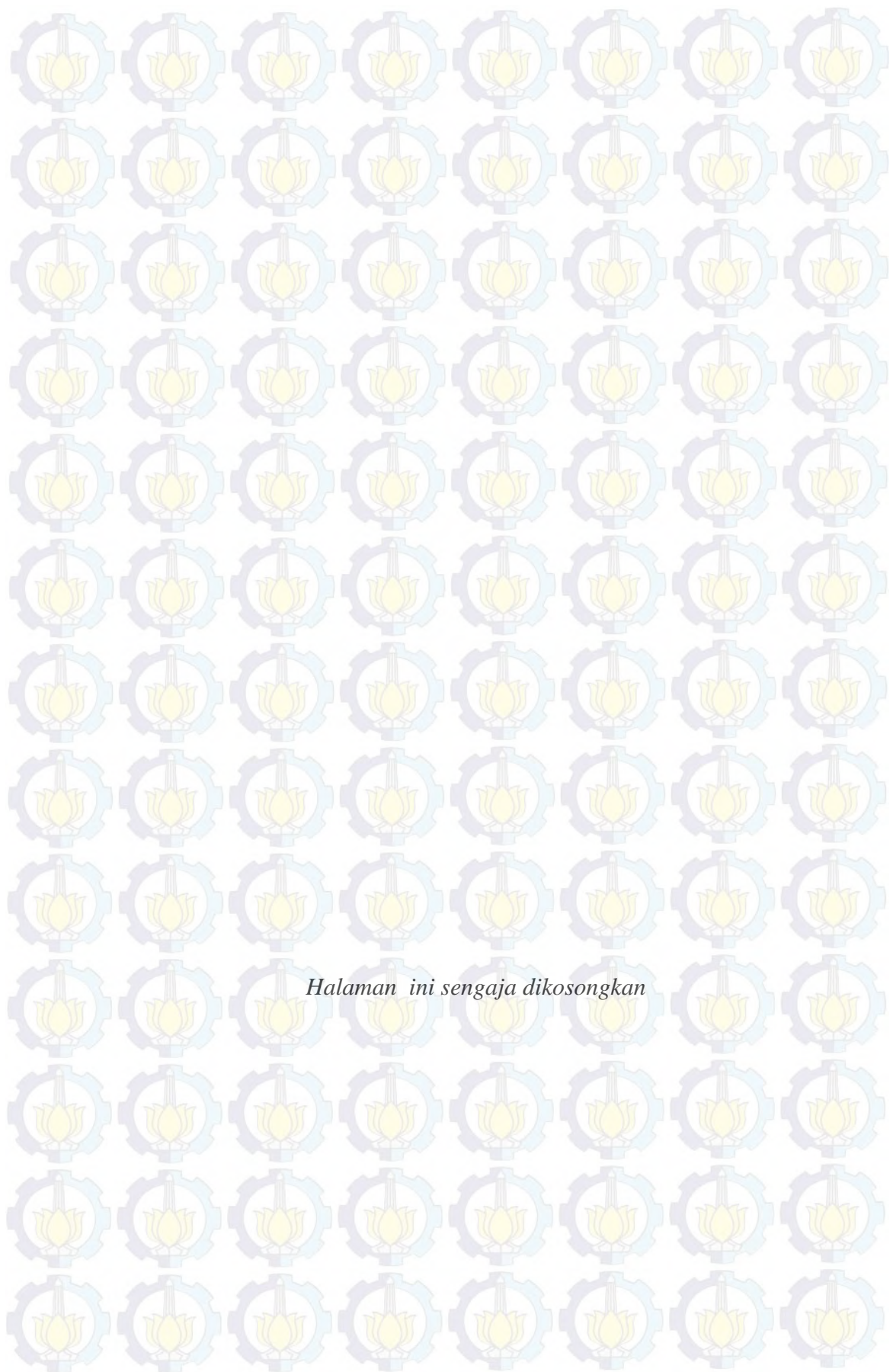
Pengambilan sampel dilakukan pada influen dan effluen HRAR, setiap hari pada waktu yang sama. Parameter yang dianalisis selama penelitian meliputi konsentrasi COD, Detergent, Klorofil-a dan MLVSS. Metode analisa dan jenis bahan kimia dijelaskan dalam Lampiran I.

4. Analisis data

Data penelitian dari masing-masing parameter penelitian dipergunakan untuk menentukan kinerja sistem alga-bakteri dalam menurunkan konsentrasi COD dan koefisien laju biodegradasi detergen. Penentuan koefisien laju degradasi, Y , dan k_d persamaan 2.20 dan 2.23

3.3.5. Evaluasi dan Aplikasi Data Penelitian pada Pengembangan Remediasi Boezem sebagai Sistem HRAP

Kajian pemulihan Boezem dengan sistem alga-bakteri dilakukan dengan memadukan data/hasil penelitian lapangan dan hasil penelitian dalam skala laboratorium. Analisis dilakukan dengan simulasi formulasi yang telah dijelaskan dalam Bab 2 sesuai kondisi Boezem. Hasil evaluasi akan digunakan sebagai arahan pendekatan teknologi yang memungkinkan untuk peningkatan kemampuan pemulihan kualitas air dalam Boezem. Acuan pemulihan yaitu pencapaian kualitas efluen Boezem memenuhi baku mutu badan air kelas IV sesuai Peraturan Pemerintah no 82 tahun 2001. Kajian dilakukan secara simultan pada peran sistem alga - bakteri sebagai pengolah air limbah sekaligus sebagai bagian mitigasi akibat emisi CO_2 ke atmosfer.



BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.

4.1. Penelitian Lapangan: Kinerja Boezem Moro Krembangan

Boezem Morokrembangan merupakan embung yang dimungkinkan dapat dikembangkan sebagai sistem HRAP untuk pengolahan air limbah domestik. Sistem HRAP merupakan sistem alga - bakteri dengan ledakan pertumbuhan alga (*alga bloom, hypereutrophic*). Kondisi eutrophikasi terjadi bila badan air mengandung cukup nutrisi (nitrogen dan fosfat) dan CO_2 terlarut sebagai sumber karbon tunggalnya. Sawyer (1947) dalam Chin (2006) menyatakan ledakan alga terjadi bila konsentrasi total Nitrogen $\geq 0,3 \text{ mg/L}$ dan fosfat $\geq 10 \text{ }\mu\text{g/L}$. Ryther dan Duncan (1971) dalam Chin (2006) menyatakan rasio N/P yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikro alga berada dalam range 3 - 30. Indikator kinerja HRAP diukur pada produksi alga sebagai klorofil-a, peningkatan MLVSS, penurunan BOD dan nutrisi (nitrogen dan fosfat). Evaluasi kinerja Boezem dilakukan sebanyak 4 kali yaitu tahun 2010; 2011; 2013 dan 2014. Pengulangan penelitian lapangan ditujukan untuk menjawab pertanyaan adakah perbedaan yang signifikan konsentrasi dan beban pencemar pada Boezem.

4.1.1. Kondisi Fisik Boezem

Boezem Morokrembangan dilewati jalan Tol Surabaya – Gempol, terdapat cukup banyak pondasi tiang penyangga yang berpengaruh pada pola aliran air di dalamnya. Pengamatan secara visual kondisi Boezem dilakukan pada saat musim hujan dan musim kemarau. Saat musim hujan, aliran air masuk ke Boezem terdiri atas limpasan air hujan dan air limbah domestik dari wilayah pelayanannya. Boezem tampak terisi penuh air dan tidak tampak timbunan sedimen sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.1a. Pada area tepi yang relatif tenang tampak mulai tumbuh gulma air seperti ditunjukkan Gambar 4.1b.



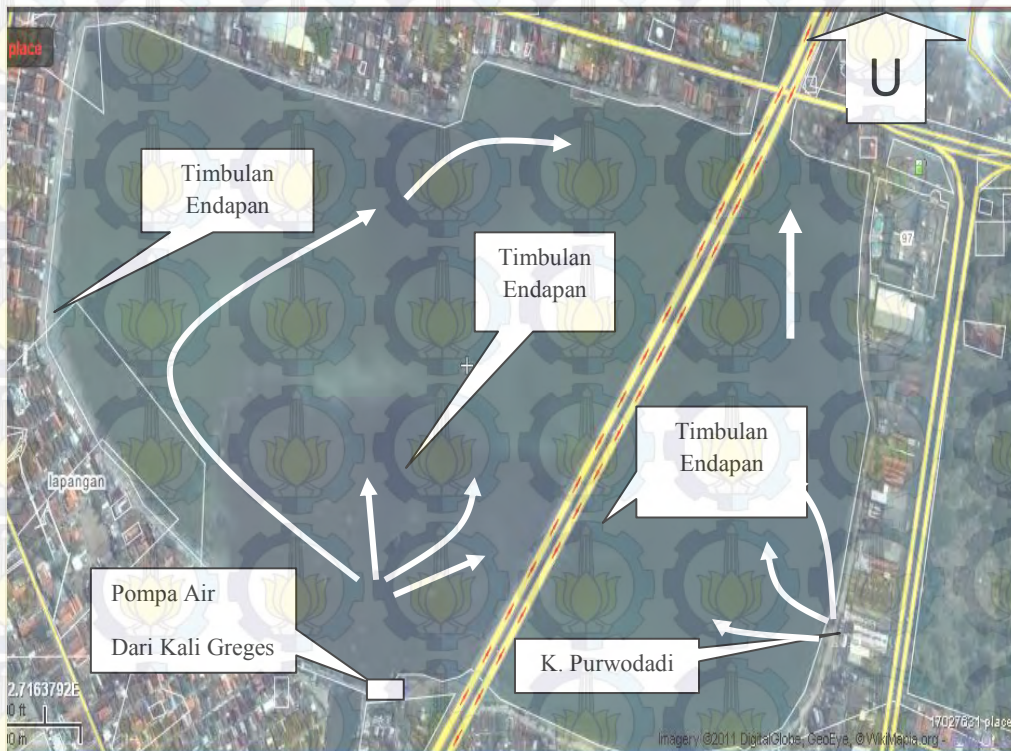
(a)



(b)

Gambar.4.1 Kondisi Boezem Morokrengan Sisi Selatan saat penuh air, saat musim hujan dan paska pengerukan (Desember 2012).

Saat kemarau, air yang masuk ke Boezem hanyalah air limbah domestik. Secara visual air tampak keruh berwarna keabu-abuan dan menimbulkan bau yang agak menyengat. Pada zona *inlet*, air terlihat berwarna kehitaman, pada area tengah Boezem sampai di titik *outlet* air cenderung berwarna kehijauan. Berubahnya warna air menjadi hijau mengindikasikan telah terjadi pertumbuhan mikroalga di dalam Boezem. Timbulan sedimen dan pendangkalan terjadi pada zona dengan aliran tenang, terutama pada bagian tepi Boezem dan di sekitar tiang jalan Tol. Pengamatan secara visual pola aliran air dijelaskan dalam Gambar 4.2. Kedalaman air dalam Boezem berada antara (20 – 80) cm. Kondisi pasang surut air laut tidak begitu berpengaruh pada Boezem bagian selatan, karena tertahan oleh pintu air.



Gambar.4.2 Pengamatan visual pola aliran air di Boezem Morokrempangan Sisi Selatan.

4.1.2. Hasil Penelitian lapangan ke 1

Boezem Morokrempangan terdiri dari dua bagian, yaitu sisi Utara dan Selatan, keduanya terhubung dengan saluran kecil yang dilengkapi pintu air. Air dari area pelayanan Boezem masuk dari dua saluran yaitu Kali Greges dan Kali Purwodadi. Air masuk dari sisi Selatan dan mengalir menuju ke Boezem Utara melewati pintu air. Saat air intensitas hujan tinggi dan air laut pasang, pintu air ditutup dan air dialirkan ke Boezem utara dengan pemompaan. Penelitian dilakukan dengan mengukur kuantitas dan kualitas air limbah yang masuk dan keluar dari Boezem Morokrempangan sisi selatan. Boezem Morokrempangan sisi selatan menerima beban air dari Kali Greges dan Saluran Kali Purwodadi. Pengukuran debit aliran yang masuk kedalam Boezem dilakukan pada kedua

saluran inlet, baik saat musim kemarau dan musim hujan. Hasil pengukuran debit air yang masuk dan keluar Boezem Morokrembangan sisi Selatan disampaikan pada Tabel 4.1. Rasio debit *inlet/outlet* Boezem saat kemarau sebesar 2,193 dan hujan sebesar 1,9. Perbedaan debit *inlet* dan *outlet* dimungkinkan disebabkan adanya faktor infiltrasi kedalam tanah dan evaporasi air di dalam Boezem.

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk penentuan rasio BOD₅/COD air limbah domestik di Boezem Morokrembangan. Sehingga, pada penelitian selanjutnya nilai BOD didekati melalui perkalian konsentrasi COD terukur dengan rasio BOD₅/COD. Pengambilan contoh air diambil pada muara Kali Greges dan Kali Purwodadi. Sampel air limbah diambil satu hari satu kali pada waktu pagi hari saat diperkirakan terjadi aliran puncak.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran debit air masuk ke Boezem Morokrembangan sisi Selatan (13 April dan 12 Mei 2010)

No	Nama Saluran	Debit air rerata (m ³ /detik)	
		Kemarau	Hujan
1	Kali Purwodadi	0,51	2,54
2	Kali Greges	3,46	39,61
Total <i>Inlet</i>		3,97	42,15
<i>Outlet</i> ke Boezem Utara		1,81	22,18

Pengambilan contoh air dilakukan selama 3 hari berturut-turut dengan metoda sampling sesaat atau *grab sampling*. Hasil penelitian pendahuluan untuk mengetahui karakteristik perbandingan BOD₅/COD disampaikan pada Tabel 4.2. Nilai rasio BOD₅/COD selama 3 Kali pengukuran berada pada kisaran (0,469 – 0,500) dengan nilai rasio secara rerata yaitu 0,4793. Rasio BOD₅/COD masih berada pada kisaran angka sebagaimana di sampaikan oleh Alaerts dan Santika (1984).

Tabel.4.2. Hasil Penelitian rasio BOD₅/COD influen Boezem Morokrembangan

Lokasi Sampling	Waktu		[BOD ₅] (mg/L)	[COD] (mg/L)	Rasio BOD ₅ /COD
	Sampling,	hari ke			
Kali Greges	1		12	24	0,500
	2		38	80	0,475
	3		65	136	0,478
Kali Purwodadi	1		23	48	0,479
	2		19	40	0,475
	3		30	64	0,469
Rerata			31,17	65,3	0,479

Hasil penelitian lapangan ke 1 disampaikan pada Lampiran II, Tabel L-2 s/d L-9. Evaluasi kinerja Boezem dilakukan dengan pendekatan konsep neraca massa, sebagaimana ditunjukkan Persamaan 4.1.

$$C_i = \frac{(Q.C)_{kG} + (Q.C)_{kPD}}{(Q_{kG} + Q_{kPD})} \quad (4.1)$$

Dimana nilai Q adalah debit air yang masuk ke Boezem Morokrembangan sisi Selatan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.1. C = konsentrasi pencemar hasil pengukuran, k_G = Kali Greges dan k_{PD} = Kali Purwodadi. Hasil kajian lapangan disampaikan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4. Pada Tabel 4.3 nampak bahwa parameter TS memiliki konsentrasi paling tinggi, baik saat musim hujan maupun kemarau. Konsentrasi COD, N-NH₃ dan P-PO₄ saat musim kemarau dan hujan masih memenuhi Baku Mutu Badan Air Permukaan Klas IV. Namun, berdasarkan nilai rasio BOD₅/COD hasil penelitian, menunjukkan nilai BOD efluen Boezem belum memenuhi Baku Mutu Badan Air klas IV. Kemampuan Boezem dalam menurunkan konsentrasi zat pencemar relatif rendah, baik pada musim kemarau dan hujan. Kemampuan penurunan konsentrasi semua parameter lebih baik pada saat musim hujan dibandingkan saat musim kemarau, kecuali konsentrasi TSS. Penurunan prosentase penyisihan TSS bisa dimungkinkan akibat kenaikan debit

Tabel 4.3 : Hasil Penelitian kemampuan penyisihan parameter pencemar pada Boezem Morokrengangan Selatan.

Parameter	Musim Kemarau			Musim Hujan		
	Rerata inlet	Rerata Outlet	Penyisihan	Rerata inlet	Rerata Outlet	Penyisihan
	(mg/L)	(mg/L)		(mg/L)	(mg/L)	
TS*	647,28 ± 117,54	525,91 ± 142,02	18,75	487,10 ± 270,50	327,43 ± 102,36	32,8
TSS*	78,68 ± 30,39	67,48 ± 25,42	14,23	81,51 ± 27,53	74,29 ± 21,40	8,9
COD*	65,41 ± 16,83	58,76 ± 15,95	10,16	49,42 ± 19,75	38,91 ± 9,77	21,3
N-NH ₃ *	19,34 ± 7,45	17,24 ± 8,76	10,86	10,06 ± 4,81	7,64 ± 2,33	24,0
P-PO ₄ **	0,11 ± 0,08	0,07 ± 0,05	36,36	0,13 ± 0,09	0,08 ± 0,05	36,7

Keterangan: * dihitung dari data 23 kali ulangan sampling,

** P-PO₄ dari data 14 ulangan sampling

Tabel 4.4: Hasil Penelitian kemampuan penyisihan beban pencemar pada Boezem Morokrembangan sisi Selatan

Parameter	Musim Kemarau			Musim Hujan		
	Rerata inlet	Rerata Outlet	Penyisihan	Rerata inlet	Rerata outlet	Penyisihan
	(Ton/hari)	(Ton/hari)	(%)	(Ton/hari)	(Ton/hari)	(%)
TS	222,023	82,244	62,96	1773,887	627,469	64,63
TSS	26,987	10,553	60,90	296,840	142,358	52,04
COD	22,434	9,189	59,04	179,976	74,560	58,57
N-NH ₃	6,634	2,721	58,98	36,618	14,641	60,02
P-PO ₄	0,038	0,011	70,99	0,466	0,155	66,70

Keterangan : dihitung berdasarkan Tabel 4.3 dan debit dipergunakan data pengukuran pada Tabel 4.1

aliran ke dalam Boezem yang berakibat pada penurunan waktu sedimentasi di dalamnya. Peningkatan kemampuan penyisihan zat pencemar di musim hujan dimungkinkan akibat adanya faktor pengenceran oleh air hujan. Pada Tabel 4.4, menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan penurunan beban pencemar saat musim kemarau dan hujan. Secara prosentase, beberapa parameter memiliki penurunan lebih besar saat musim kemarau, utamanya pada parameter TSS, COD dan P-PO₄. Namun untuk parameter TSS, konsentrasi yang masuk di musim hujan lebih besar bila dibandingkan saat musim kemarau. Hal ini, disebabkan adanya penambahan pencemar pada limpasan air hujan dari area pelayanan Boezem. Peningkatan juga disebabkan adanya resuspensi sedimen pada saluran drainase yang menuju ke Kali Greges maupun Kali Purwodadi. Saat musim hujan, laju akumulasi TS diestimasi mencapai 1773,887 ton/hari dan TSS sebesar 296,840 ton/hari. Hasil penelitian Satwika (2012) pada sedimen Boezem Morokrembangan didapatkan berat jenis sedimen dasar pada posisi setelah inlet sebesar 1180 kg/m³, maka dengan mengabaikan adanya proses biodegradasi endapan lumpur, akan terdapat akumulasi volume sedimen dasar sebesar 130,92 m³/hari. Laju timbunan sedimen pada saat akhir musim hujan, secara visual tampak muncul sangat cepat, sebagaimana ditunjukkan Gambar 4.3. Tingginya laju timbunan sedimen berdampak pada berkurangnya kapasitas Boezem dan perubahan pola aliran air di dalamnya.

Kandungan nutrisi pada air limbah yang masuk ke Boezem cukup memenuhi persyaratan untuk pertumbuhan alga. Hasil perhitungan menunjukkan nilai rasio N-NH₃/P-PO₄ pada saat musim kemarau sebesar 175,82 dan 78,55 saat hujan. Rasio ini sangat memenuhi persyaratan untuk terjadinya ledakan pertumbuhan alga, dan dapat berproses sebagai sistem alga - bakteri. Penelitian Ryther dan Dunstan (1971) dalam Chin (2006) menyatakan rasio N/P kondisi ideal suatu proses *hypereutrophic* minimum sebesar 33. Nilai Rasio N/P yang tinggi dapat memicu terbentuknya senyawa NO₃ dan NH₄⁺. Kehadiran N-NH₃ pada sistem HRAP dalam konsentrasi yang tinggi akan bersifat toksik dan menghambat pertumbuhan mikroorganisme (Chen *et al.*, 2011).



(a)



(b)

Gambar 4.3 Photo timbunan sedimen pada Boezem Morokrembangan sisi selatan (Dokumentasi, 2010)

4.1.3. Hasil Penelitian Lapangan Ke 2.

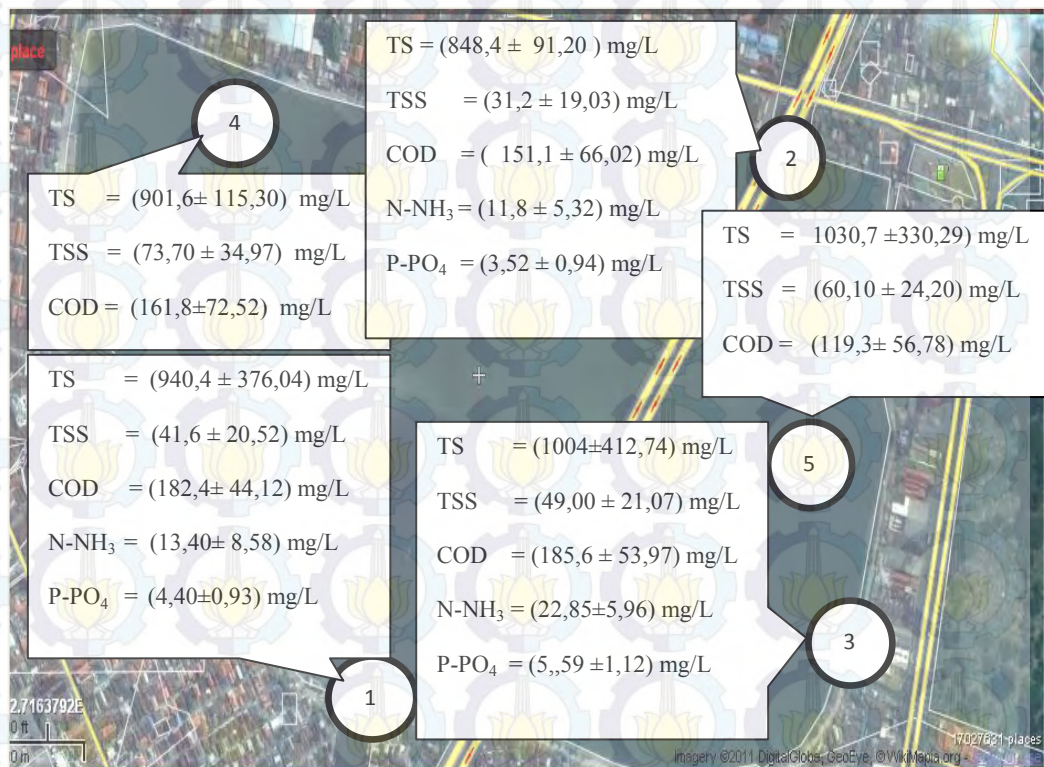
Penelitian lapangan ke 2, dilakukan pada bulan Agustus – Oktober tahun 2011. Penelitian ini, selain ditujukan untuk verifikasi data sebelumnya juga untuk mengkaji terjadinya perubahan konsentrasi pencemar pada titik tertentu di dalam Boezem. Pengukuran debit air yang masuk dan keluar Boezem diukur sebanyak 2 (dua) kali di musim kemarau dan musim hujan. Pengukuran dilaksanakan oleh Laboratorium Hidro Teknik Sipil FTSP ITS, 2011. Data hasil pengukuran ditunjukkan Lampiran II, Tabel L-10; L-11, dan disarikan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil pengukuran debit air yang masuk dan keluar Boezem,
(Bulan Agustus dan Oktober tahun 2011)

No	Nama Saluran	Debit air rerata, m ³ /detik	
		Musim Kemarau	Musim Hujan
1	Kali Purwodadi	0,309	0,502
2	Kali Greges	5,392	14,418
	Total Inlet	5,702	14,920
	Out let	5,114	12,997

Parameter kualitas air yang dievaluasi tetap sama yaitu konsentrasi COD, N diukur sebagai konsentrasi NH_3^+ dan P diukur sebagai PO_4^- . Sampel air diambil sekali per hari selama sepuluh hari pada bulan Agustus 2011 dan akhir bulan Oktober 2011. Pengambilan contoh air dilakukan di lima titik untuk mendapatkan data perubahan konsentrasi di dalam Boezem. Dua titik di inlet Boezem, dua titik pada area di dalam Boezem dan 1 titik pada outlet pintu air menuju ke Boezem sisi utara. Pengambilan contoh di dalam Boezem mewakili zona aliran tenang (relatif diam) dan zona yang diperkirakan terjadi aliran. Hasil analisis kualitas air ditampilkan pada lampiran II, Tabel L-12 sampai dengan Tabel L-24. Nilai rerata konsentrasi parameter pencemar hasil kajian lapangan disajikan dalam Tabel 4.6, dan Tabel 4.7 untuk rerata beban pencemar masuk dalam Boezem. Sebaran

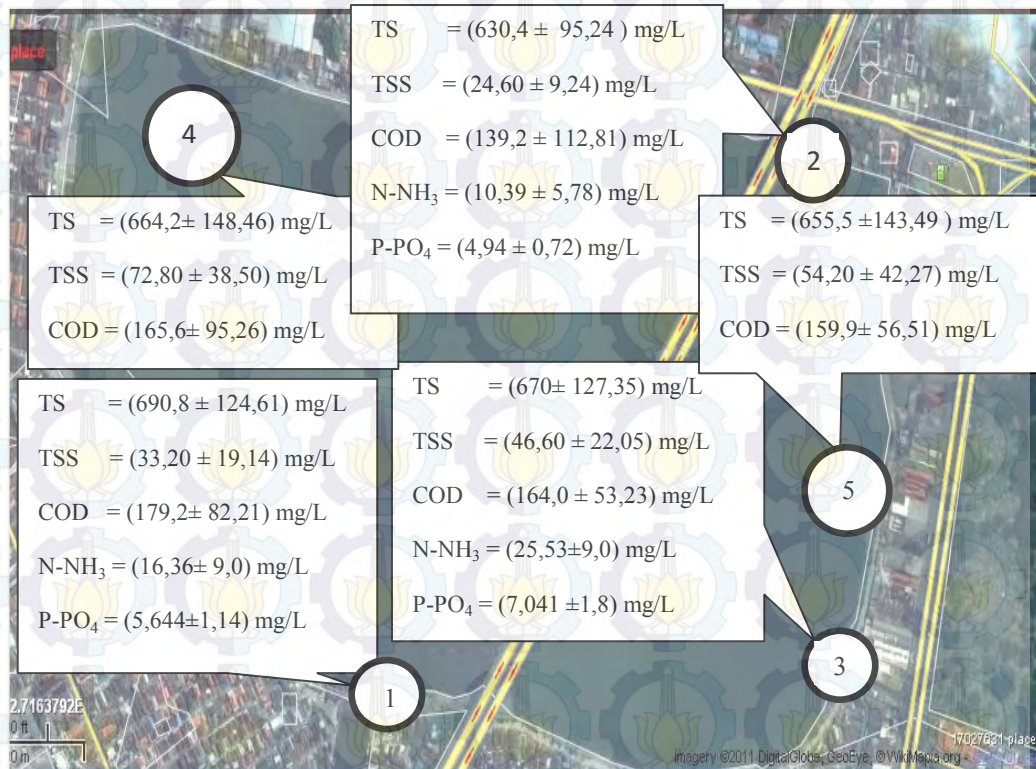
konsentrasi parameter pencemar saat musim kemarau dan hujan dijelaskan dalam Gambar 4.4. dan Gambar 4.5.



Gambar 4.4 Pemetaan pencemar saat musim kemarau (2011).

Hasil penelitian saat musim kemarau menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan antara kualitas air limbah dari Kali Greges dan Kali Purwodadi. Perubahan konsentrasi parameter pencemar mengikuti pola aliran air yang ada di dalam Boezem. Aliran air dari titik 1 lewat bagian tepi Boezem menuju ke titik 4 dan ke *outlet* (titik 2). Demikian pula aliran air dari Kali purwodadi (titik 3), menuju ke titik 5 dan ke *outlet*. Pada titik 4 terjadi penurunan konsentrasi TS dan COD dan terjadi sedikit peningkatan pada konsentrasi TSS. Peningkatan nilai TSS juga terjadi pada titik 5, diperkirakan sebagai hasil pertumbuhan alga. Pengamatan secara visual saat kemarau pada air Boezem, di titik 4, 5 dan 2 (*outlet*), air berwarna hijau. Hal ini, mengindikasikan adanya pertumbuhan alga yang cukup masiv. Gambar 4.5 menunjukkan karakteristik air limbah Kali Greges dan Kali Purwodadi relatif tidak jauh berbeda dengan saat musim kemarau. Penurunan konsentrasi pada titik 4, 5 dan 2 (*outlet*) relatif sama dengan

di musim kemarau. Pada titik 4 dan 5, konsentrasi TSS sedikit meningkat diduga karena peningkatan kecepatan aliran air sehingga terjadi resuspensi sedimen.



Gambar 4.5 Pemetaan konsentrasi pada saat musim hujan (2011).

Tabel 4.6, menunjukkan konsentrasi pencemar yang masuk ke dalam Boezem saat musim kemarau sedikit lebih besar dibanding musim hujan. Namun, beban yang masuk ke Boezem dimusim hujan lebih besar dibanding musim kemarau sebagaimana dijelaskan pada Tabel 4.7. Peningkatan jumlah beban pencemar disebabkan adanya limpasan air hujan yang membawa endapan dari saluran drainase dari area pelayanan Boezem. Perhitungan kinerja Boezem dilakukan dengan pendekatan neraca massa sebagaimana dijelaskan pada persamaan 4.1 disampaikan dalam Table 4.6. Saat kemarau penyisihan N-NH₃ lebih baik dibanding saat musim hujan, hal ini kemungkinan akibat adanya pertumbuhan alga yang cukup besar. Prosentase penurunan konsentrasi TSS, COD dan phosphat saat musim hujan lebih besar bila dibandingkan dengan saat musim kemarau. Perbedaan penyisihan ini, dimungkinkan adanya perbedaan konsentrasi yang masuk dan adanya efek pengenceran.

Tabel 4.6. Hasil Pengukuran kinerja Boezem Morokrempangan sisi selatan tahun 2011

Parameter	Musim Kemarau			Musim Hujan		
	Rerata inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	Penyisihan (%)	Rerata inlet (mg/L)	Rerata Outet (mg/L)	Penyisihan (%)
TS	949,27 ± 390,18	848,40 ± 91,20	10,63	690,10 ± 122,35	630,40 ± 5,24	8,7
TSS	42,00 ± 20,23	31,20 ± 19,03	25,71	33,65 ± 9,13	24,60 ± 9,24	26,9
COD	182,57 ± 42,77	151,20 ± 66,02	17,18	179,20 ± 80,67	139,20 ± 9,77	22,4
N-NH ₃	16,36 ± 4,99	11,39 ± 5,59	30,36	13,30 ± 4,62	11,80 ± 5,32	11,3
P-PO ₄	5,64 ± 1,14	4,94 ± 0,72	12,53	4,14 ± 0,07	3,52 ± 0,94	15,0
N-NH ₃ /P-PO ₄	2,89			3,21		

Keterangan : Dihitung dari data 10 kali ulangan sampling musim kemarau dan musim hujan.

Table 4.7 menjelaskan perhitungan penurunan pencemar berbasis neraca massa menunjukkan parameter TSS, COD, dan P-PO_4^- lebih baik di musim hujan. Penyisihan parameter N-NH_3^+ di musim kemarau lebih besar, baik berdasarkan pada perubahan konsentrasi maupun beban pencemar masuk ke Boezem. Besarnya beban pencemar yang masuk ke Boezem saat musim hujan, telah meningkatkan laju timbunan endapan yang terjadi secara berulang setiap tahun sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 4.3. Hasil penelitian lapangan ke 2, menunjukkan bahwa konsentrasi COD terlarut; N-NH_3^+ ; P-PO_4^- lebih besar dibandingkan dengan hasil penelitian lapangan ke 1. Perhitungan terhadap rasio konsentrasi $\text{N-NH}_3^+/\text{P-PO}_4^-$, pada influen Boezem masih memenuhi persyaratan untuk terjadinya kondisi *hypereutrophic*. Rasio $\text{N-NH}_3^+/\text{P-PO}_4^-$ rerata 2,89 di musim kemarau dan 3,21 di musim hujan, masih cukup untuk tumbuh dan berkembangnya mikroalga. Pada kondisi rasio $\text{N/P} < 10$, nitrogen menjadi faktor pembatas nutrisi (Ryther dan Dunstan, 1971 dalam Chin, 2006). Berdasarkan hukum Liebig's (Chin, 2006), bila suplai nutrisi masih dalam kecukupan atau adekuat, akan tetap terjadi pertumbuhan alga secara masif.

Konsentrasi pencemar dalam efluen Boezem saat musim kemarau maupun musim hujan masih belum memenuhi Baku Mutu Badan Air kelas IV. Pada Saat musim Kemarau konsentrasi COD dan N-NH_3^+ rerata masih berada jauh di atas baku mutu yang ditetapkan. Besarnya beban pencemar pada penelitian ke 2, secara keseluruhan lebih tinggi bila dibandingkan dengan hasil penelitian ke 1. Hasil penelitian memberikan informasi bahwa Kali Greges tetap memberikan kontribusi beban pencemar lebih besar dibandingkan dari Kali Purwodadi. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan luasan area pelayanan antara Kali Greges dengan Kali Purwodadi. Secara umum hasil perhitungan kinerja berbasis beban relatif sama dengan perhitungan berbasis konsentrasi.

4.1.3.1. Profil Konsentrasi Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen*, DO)

Pada penelitian lapangan ke 2, dilakukan pula pengukuran nilai kandungan oksigen terlarut dari semua lokasi titik pengambilan sampel.

Tabel 4.7. Hasil Pengukuran kinerja ke Boezem Morokrembangan sisi selatan tahun 2011 berbasis beban pencemar

Parameter	Satuan	Saat Kemarau			Saat Hujan		
		Rerata	Rerata	Persen	Rerata	Rerata	Persen
		inlet	Out Let	Penyisihan,%	inlet	Out Let	Penyisihan,%
TS*	Ton/hari	467,626	374,865	19,84%	889,600	707,902	20,42%
TSS*	Ton/hari	20,691	13,786	33,37%	43,379	27,624	36,32%
COD*	Ton/hari	89,938	66,808	25,72%	230,345	156,313	32,14%
N-NH ₃ *	Ton/hari	8,060	5,034	37,54%	17,145	13,251	22,71%
P-PO ₄ *	Ton/hari	2,780	2,182	21,54%	5,337	3,954	25,91%

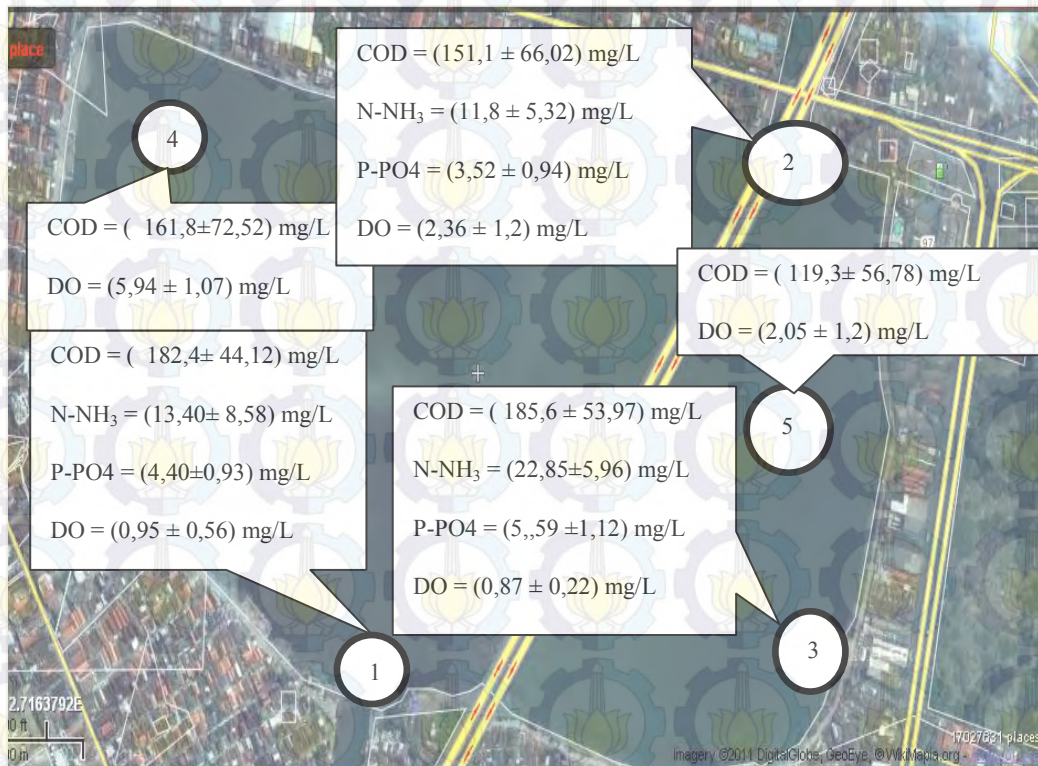
Keterangan : *Dihitung berdasarkan Tabel 5.5 dan debit dipergunakan data pengukuran pada Tabel 4.6

Pengukuran DO dimaksudkan untuk mengevaluasi perkiraan kecukupan oksigen untuk proses biodegradasi alamiah. Proses peningkatan oksigen diperkirakan berasal dari proses reaerasi dan adanya kontribusi dari aktivitas mikroalga yang tumbuh dan berkembang di dalam Boezem. Hasil perhitungan secara rerata konsentrasi DO pada Boezem dipetakan pada Gambar 4.6 dan 4.7. Konsentrasi DO saat kemarau sebagaimana dipetakan pada Gambar 4.6, terjadi kenaikan di dalam dan di *outlet* Boezem. Demikian pula konsentrasi DO saat musim hujan yang dijelaskan dalam Gambar 4.7. Hasil penelitian pada ke dua musim menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi DO dalam Boezem di titik 4; 5 dan *outlet*. Kenaikan konsentrasi DO bisa diduga karena adanya proses reaerasi alamiah dan adanya aktivitas fotosintesa alga. Sebagaimana penjelasan terdahulu, saat musim kemarau air Boezem menjadi hijau dimulai dari sekitar titik 4 dan 5 sampai ke *outlet*. Nilai DO pada titik 4, di saat musim kemarau lebih tinggi dibandingkan pada saat musim hujan, sebagai indikasi kontribusi fotosintesa oleh alga. Hal ini menandakan bahwa di dalam Boezem telah terjadi proses pemulihan diri. Adanya aktivitas fotosintesis alga tidak hanya ditunjukkan oleh adanya kenaikan konsentrasi DO saja. Namun juga telah dilakukan penelitian diversitas dan konsentrasi alga di Boezem yang akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

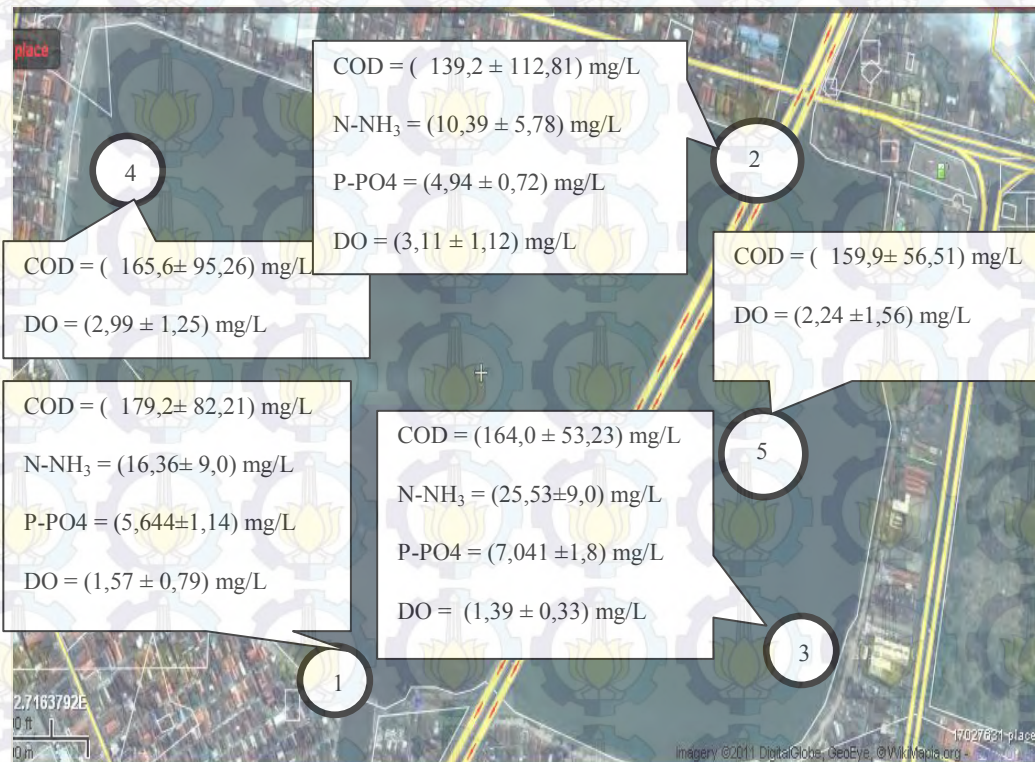
4.1.3.2. Dominasi Spesies alga pada Boezem Morokrembangan bagian selatan

Penelitian diversitas alga ditujukan untuk mengkaji keterkaitan antara kualitas air dengan kelimpahan spesies alga yang tumbuh dan berkembang dalam Boezem. Penelitian dilakukan dengan mengambil sampel pada 3 titik yang dianggap mewakili kondisi populasi alga pada badan air Boezem. Pengambilan sampel dilaksanakan pada saat musim kemarau, awal musim hujan dan saat musim hujan. Posisi titik pengambilan sampel dijelaskan pada Gambar 4.8. dengan koordinat sebagai berikut :

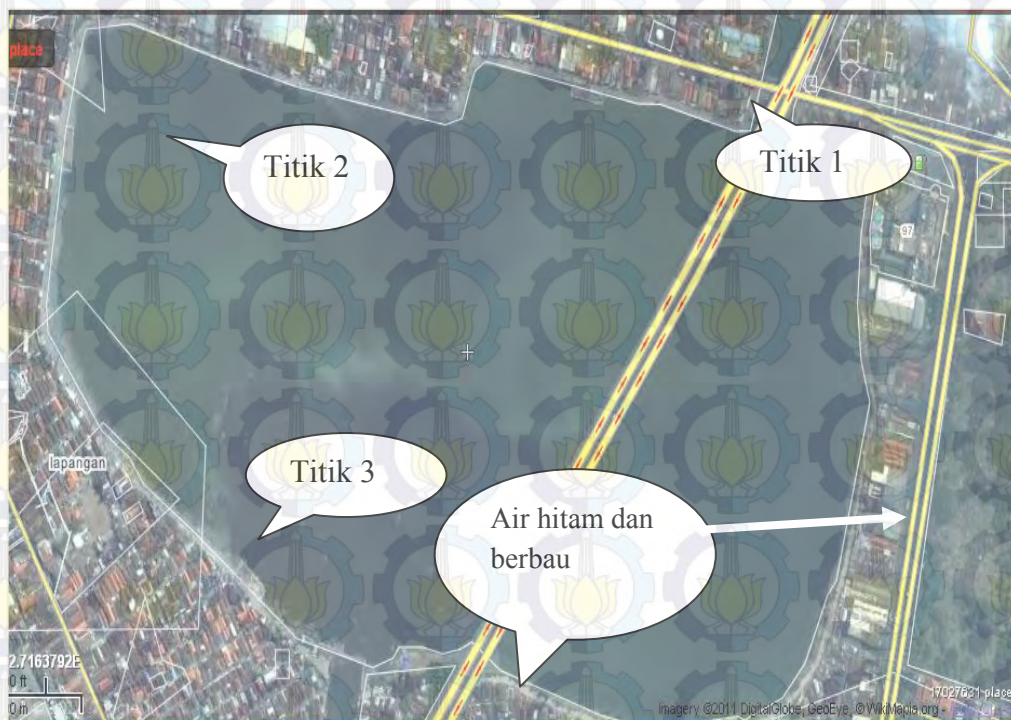
- Titik 1 pada koordinat 07°14'09.40" LS dan 112°42'53.80" BT
- Titik 2 pada koordinat 07°13'56.40" LS dan 112°42'44.90" BT
- Titik 3 pada koordinat 07°13'55.40" LS dan 112°43'03.60" BT.



Gambar 4.6 : Pemetaan konsentrasi DO dan parameter lain saat kemarau, (2011).



Gambar 4.7 Pemetaan konsentrasi DO dan parameter lain saat hujan, (2011).



Gambar 4.8 Titik Pengambilan Sampel untuk observasi jenis alga

Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 3 Kali pada bulan yang berbeda, dimana penetapan posisi dan teknik pengambilan sampel dicontohkan Gambar 4.9. Hasil identifikasi dan analisis diversitas secara keseluruhan untuk pengukuran tahun 2011 dan 2012 disampaikan dalam Lampiran V. Kondisi lingkungan ekosistem diperkirakan mempengaruhi diversitas dan dominasi jenis alga. Hasil penelitian dominasi alga pada Boezem Morokrengan sisi selatan adalah sebagai berikut :

- a. Diversitas alga pada Boezem Morokrengan berbeda pada setiap titik lokasi pengambilan contoh air. Hal ini dimungkinkan karena adanya perubahan kondisi lingkungan seperti konsentrasi senyawa organik, nutrien, pH dan kedalaman air yang berbeda.
- b. Pada semua semua titik pengukuran, alga jenis *Oscillatoria* sp sangat mendominasi pada ekosistem alga di dalamnya, disusul *Spirulina* sp.



(a)

(b)

Gambar 4.9 Pengambilan contoh alga di Boezem Morokrembangan

Hasil penelitian secara rinci dijelaskan sebagai berikut :

a. Observasi Pertama dilakukan pada bulan September 2011:

- Di titik 1 ditemukan 7 jenis genus alga dengan kelimpahan sekitar 31-1440 jumlah sel/liter air. Spesies alga yang mendominasi pada titik ini adalah *Oscillatoria* sp dengan indeks kelimpahan hingga 59%.
- Di lokasi titik 2 ditemukan 8 genus alga dengan kelimpahan sekitar 31-6125 jumlah sel/liter air. Dominasi spesies alga di titik 2, *Spirulina* sp, *Chlorella* sp dan *Oscillatoria* sp dengan indeks kelimpahan berurutan 38,4%; 36,97%; 21,14%.
- Di lokasi titik 3 ditemukan 9 jenis genus alga dengan kelimpahan sekitar 11004 jumlah sel/liter air. Spesies alga yang mendominasi pada titik ini adalah *Oscillatoria* sp. dengan indeks kelimpahan hingga 56%.

b. Observasi kedua dilakukan pada bulan Nopember 2011:

- Di titik 1 ditemukan 10 jenis genus alga dengan kelimpahan sekitar 21-1233 jumlah sel/liter air. Dominasi alga jenis *Oscillatoria* sp. dengan indeks kelimpahan hingga 53%.
- Di lokasi titik 2 ditemukan 12 genus alga dengan kelimpahan sekitar 16-3214 jumlah sel/liter air. Jenis spesies alga yang mendominasi pada titik ini adalah *Oscillatoria* sp. dengan indeks kelimpahan hingga 63%.

- Di lokasi titik 3 ditemukan 9 jenis genus alga dengan kelimpahan sekitar 1339 jumlah sel/liter air. Jenis genus alga yang mendominasi pada titik ini adalah *Oscillatoria* sp. dengan indeks kelimpahan hingga 49%.
- c. Observasi ketiga dilakukan pada bulan Desember 2011:
 - Di titik 1 ditemukan 16 jenis genus alga dengan kelimpahan sekitar 2-789 jumlah sel/liter sampel air. Jenis spesies alga yang mendominasi pada titik ini adalah *Oscillatoria* sp. dengan indeks kelimpahan hingga 68%.
 - Di lokasi titik 2 ditemukan 24 genus alga dengan kelimpahan sekitar 1-867 jumlah sel/liter sampel air. Jenis spesies alga yang mendominasi pada titik ini adalah *Oscillatoria* sp dengan indeks kelimpahan hingga 65%.
 - Di lokasi titik 3 ditemukan 19 jenis genus alga dengan kelimpahan sekitar 980 jumlah sel/liter sampel air. Jenis spesies alga yang mendominasi pada titik ini adalah *Oscillatoria* sp. dengan indeks kelimpahan hingga 78%.

Penelitian ulangan untuk melihat kemungkinan terjadinya perubahan diversitas alga dilakukan pada saat musim hujan di bulan Desember 2012. Lokasi pengambilan sampel sama dengan pada posisi sampling alga yang dilakukan pada penelitian diversitas alga pada tahun 2011. Hasil penelitian disampaikan pada Lampiran V dengan ringkasan sebagai berikut:

- Pada titik 1 ditemukan 9 jenis alga dengan kelimpahan sekitar 20 – 2750 individu spesies/L sampel air. *Oscillatoria* sp mendominasi dengan indeks kelimpahan sebesar 69,13 %.
- Pada titik 2 ditemukan 9 jenis alga dengan kelimpahan 12 – 2428 individu spesies/L sampel air. *Oscillatoria* sp mendominasi dengan indeks kelimpahan sebesar 73,22 %,
- Pada titik 3 ditemukan 15 jenis alga dengan kelimpahan antara 6 – 2325 individu spesies/L sampel air. *Oscillatoria* sp mendominasi dengan indeks kelimpahan sebesar 55,64 %.

Penelitian diversitas alga menunjukkan bahwa *Oscillatoria* sp. adalah genus alga yang paling mendominasi pada badan perairan Boezem Morokrengan bagian selatan. Diversitas alga bertambah pada zona sekitar *outlet* Boezem, sebagaimana dijelaskan pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.10.

Berdasarkan penilaian indeks diversitas Shannon - Wiener (H'), pada titik 2 dan 3 berada pada struktur komunitas stabil (1,21- 1,8). Nilai H' pada titik 2 dan 3 masing – masing 1,291 dan 1,306. Titik 1 di dekat inlet Boezem dari Kali Greges memiliki nilai diversitas 1,15 yang termasuk struktur komunitas cukup stabil.

Tabel 4.8. Nilai Indeks diversitas Shannon-Wiener

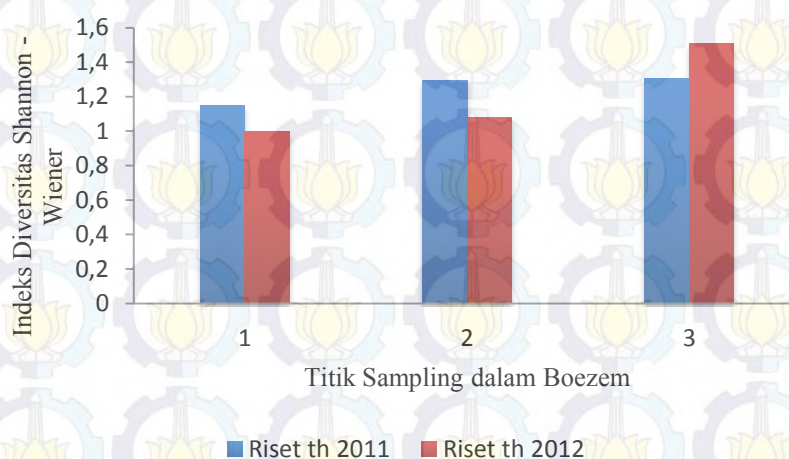
Tahun penelitian	Titik Sampling		
	1	2	3
2011	1,146	1,291	1,306
2012	0,999	1,08	1,506

Hasil perhitungan penelitian, Lab Biologi ITS, 2011 dan 2012

Keterangan :

Titik 1 = dekat *inlet* Boezem; titik 2 = di zona tengah; titik 3 = dekat *outlet*.

Dari hasil identifikasi diketahui bahwa jenis mikroalga yang dominan dalam Boezem adalah *Oscillatoria sp.* Nilai diversitas alga di Boezem cenderung meningkat ke arah titik *outlet* bermakna bahwa ada perbaikan kualitas air di dalam Boezem. Observasi secara visual menunjukkan pada zona *inlet* terdapat banyak endapan, timbul bau busuk agak menyengat, saat musim hujan maupun kemarau.



Gambar 4.10 Perbandingan indeks diversitas alga pada Boezem Morokrembangan sisi Selatan

Polprasert, (1996) menyatakan jenis alga yang sering muncul pada air limbah perkotaan ada 8 genus. Ke delapan genus alga yaitu *Euglena*, *Oscillatoria*, *Clamydomonas*, *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Nitzschia*, *Navicula*, dan *Stigeoclonium*. Jenis alga ini tergolong dalam genus alga yang paling toleran terhadap polutan.

4.1.4. Penelitian Lapangan Ke 3.

Penelitian lapangan ke 3 ditujukan untuk mengkaji beberapa parameter lain dalam air limbah yang diperkirakan berpengaruh pada pertumbuhan sistem alga-bakteri. Parameter tambahan diukur setelah mempertimbangkan hasil penelitian skala laboratorium secara proses *batch*, menunjukkan pertumbuhan alga yang sangat lambat. Beberapa percobaan menunjukkan terjadi perubahan warna dari hijau menjadi terang, hal ini mengindikasikan telah terjadi kematian alga. Parameter tambahan meliputi nilai Salinitas air limbah; konsentrasi detergen; Phenol, Nitrat dan TVS. Nilai Salinitas, konsentrasi detergen dan phenol diukur karena pada konsentrasi tertentu bersifat toksik terhadap alga dan bakteri. TVS merepresentasikan besarnya kandungan zat organik dan konsentrasi biomassa dalam air limbah. Penelitian dilakukan hanya pada muara Kali Greges di titik *inlet* Boezem. Penetapan pengambilan contoh air didasarkan pada pertimbangan bahwa Kali Greges merupakan kontributor pencemar terbesar ke dalam Boezem.

Penelitian besarnya senyawa organik yang masuk ke Boezem dilakukan dengan mengukur konsentrasi TS dan TVS. Pengambilan sampel dilaksanakan 2 kali pada musim yang berbeda. Musim kemarau di bulan April - Mei – Juni dan musim hujan di akhir bulan September dan Oktober. Sampel diambil secara *grab sampling*, satu kali per hari selama 5 hari dalam setiap periode sampling. Hasil penelitian disampaikan pada Lampiran II Tabel L-25 s/d L-27, resume evaluasi penelitian ke 3 disampaikan dalam Tabel 4.9. Beberapa parameter menunjukkan kecenderungan sama sebagaimana hasil penelitian lapangan ke 1 dan ke 2. Hasil penelitian saat kemarau menunjukkan peningkatan konsentrasi COD, N-NH_3^+ , P-PO_4^- , hal ini diperkirakan karena akibat berkurangnya kuantitas air. Sedangkan saat musim hujan, semua parameter yang diukur memiliki konsentrasi lebih

rendah bila dibanding saat musim kemarau. Penurunan konsentrasi parameter pencemar yang diukur, diduga akibat penambahan kuantitas air sehingga terjadi proses pengenceran saat musim hujan. Rasio TVS/TS saat musim kemarau dan musim hujan relatif tidak jauh berbeda. Evaluasi rasio N/P didekati dengan menghitung nilai N dalam senyawa N-NO_3^- dan N-NH_3^+ dan nilai P dalam $\text{PO}_4^{=}$. Nilai rasio N/P tidak jauh berbeda antara saat musim kemarau dan musim hujan. Rasio N/P lebih besar dibanding hasil penelitian lapangan sebelumnya dan memenuhi kriteria untuk pertumbuhan alga dan bakteri

Tabel 4.9. Hasil Pengukuran Kualitas Air Kali Greges sebagai *input* pada Boezem tahun 2013

Parameter	Satuan	Konsentrasi Rerata	
		Musim Kemarau	musim Hujan
TS	mg/L	845,790 ± 188,82	434,840 ± 71,51
TVS	mg/L	255,172 ± 35,70	203,902 ± 30,95
COD	mg/L	250,892 ± 47,52	159,600 ± 49,21
N-NO_3^-	mg/L	0,535 ± 0,20	0,676 ± 0,20
N-NH_3^+	mg/L	38,710 ± 6,30	28,900 ± 9,30
$\text{P-PO}_4^{=}$	mg/L	7,142 ± 0,63	4,990 ± 2,07
Salinitas	ppt	0,630 ± 0,03	0,452 ± 0,09
Detergen	mg/L	2,326 ± 0,12	0,271 ± 0,11
Phenol	mg/L	1,54 ± 0,16	0,540 ± 0,15
Rasio TVS/TS		0,322 ± 0,12	0,478 ± 0,09
Rasio $\text{N-NH}_3/\text{P-PO}_4$		13,73	14,71

Hasil analisis kelimpahan Genus alga menunjukkan *Oscillatoria sp* tetap mendominasi dalam air Boezem. Pertumbuhan alga berlanjut di Boezem sisi Utara. Hasil penelitian menunjukkan kelimpahan *Oscillatoria sp* pada Boezem Utara sebesar 72,14 % dan di sisi selatan 49,95 %. Namun, hasil pengukuran konsentrasi alga sebagai klorofil-a, pada Boezem sisi utara sebesar 0,05 mg/l dan

sisi selatan sebesar 0,07 mg/l. Perbedaan konsentrasi klorofil-a dimungkinkan karena berkurangnya nutrisi dan perubahan salinitas akibat pengaruh pasang surut.

4.1.5. Penelitian Lapangan Ke 4

Penelitian lapangan ke 4 dilakukan saat awal musim hujan dan kondisi Boezem mengalami pendangkalan pada luasan yang cukup besar. Observasi ini ditujukan untuk mengetahui efek penurunan waktu detensi pada kinerja Boezem. Pengambilan sampel dilaksanakan pada dua titik *inlet* dari Kali Greges dan Kali Purwodadi dan di titik *outlet* selama 10 hari. Data penelitian ditampilkan dalam Lampiran II Tabel L-28 sampai L-31. Hasil analisis dijelaskan pada Tabel 4.10. Konsentrasi TS pada penelitian ke 4 tetap tinggi dan tidak jauh berbeda dibanding penelitian sebelumnya. Rasio TSS/TS dari Kali Greges dan Purwodadi sebesar 0,123 dan 0,159. Hal ini menunjukkan bahwa bahan pencemar yang masuk ke dalam Boezem sebagian besar berada dalam keadaan terlarut. Rasio TVS/TS masuk kedalam Boezem masih sama dengan penelitian sebelumnya, 0,28 dari Kali Greges dan di Kali Purwodadi sebesar 0,373. Pada *outlet* Boezem rasio TVS/TS naik menjadi 0,49 mengindikasikan telah terjadi penyisihan komponen anorganik dan atau penurunan konsentrasi TS. Secara keseluruhan, konsentrasi TS, TVS, TSS, TVSS, COD mengalami penurunan, Parameter COD mengalami penurunan lebih $\pm 40\%$. Penurunan COD selaras dengan penurunan konsentrasi TVS dan TVSS, yang diperkirakan karena proses pengendapan. Parameter N-NH_3^+ menurun lebih besar bila dibandingkan N-NO_3^- . Perbedaan penurunan bisa disebabkan akibat proses evaporasi senyawa ammonia, perbedaan laju serapan oleh alga.

Rasio N/P dari Kali Greges, Purwodadi dan di *outlet* Boezem berturut-turut sebesar 2,936; 2,259 dan 2,6. Hal ini menunjukkan bahwa air limbah layak untuk pertumbuhan alga secara masif, bila ada kecukupan waktu proses dan pencahayaan. Tabel 4.10 menunjukkan, COD efluen Boezem = $(35,89 \pm 10,18)$ mg/L dan diperkirakan konsentrasi BOD = 17,0 mg/L. Konsentrasi BOD efluen Boezem masih di atas Baku Mutu Badan Air kelas IV sebesar 12 mg/L.

Tabel 4.10 : Hasil Penelitian Lapangan Kinerja Boezem Morokrembangan Tahun 2014

Parameter	Satuan	K. Greges	K.Purwodadi	Outlet Boezem
TS *	(mg/L)	734,4 ± 93,11	595,20 ± 245,70	386,00 ± 165,26
TVS*	(mg/L)	205,6 ± 58,19	222,00 ± 90,28	189,00 ± 101,58
TSS *	(mg/L)	90,4 ± 44,03	94,40 ± 35,14	77,60 ± 8,87
TVSS*	(mg/L)	51,60 ± 19,73	46,80 ± 14,61	49,00 ± 22,72
COD*	(mg/L)	65,18 ± 18,47	63,83 ± 14,59	35,89 ± 0,18
N-NO ₃ ⁻ *	(mg/L)	1,52 ± 0,76	1,16 ± 0,34	1,41 ± 0,23
N-NH ₃ ⁺ *	(mg/L)	5,89 ± 2,55	6,79 ± 3,34	4,66 ± 0,97
N _{total} *	(mg/L)	12,01 ± 1,50	11,17 ± 1,48	10,64 ± 1,33
PO ₄ ⁼ *	(mg/L)	1,13 ± 0,61	1,32 ± 0,44	1,58 ± 0,78
P _{total} *	(mg/L)	4,09 ± 1,90	4,96 ± 1,95	4,03 ± 0,29
Khlorofil-a*	(mg/L)	0,06 ± 0,03	0,06 ± 0,04	1,70 ± 0,60
Surfaktan**	(mg/L)	2,49 ± 0,61	2,54 ± 0,18	0,47 ± 0,35
Rasio N/P		2,94	2,26	2,64
Rasio TS/TSS		0,12	0,16	0,20
Rasio TVS/TS		0,28	0,37	0,49
Rasio TVSS/TSS		0,57	0,50	0,63

Keterangan : * dihitung dari data 10 kali ulangan sampling

** Surfaktan dari data 3 ulangan sampling

Konsentrasi klorofil-a pada efluen Boezem cukup besar, mengindikasikan telah terjadi pertumbuhan alga pada Boezem. Kandungan surfaktan dari Kali Greges dan Kali Purwodadi cukup besar, sebagai indikasi kehadiran detergen dalam air limbah domestik. Proses sedimentasi dan biodegradasi dalam Boezem ternyata mampu menurunkan konsentrasi surfaktan dalam jumlah yang cukup besar. Perhitungan neraca massa pada di Tabel 4.5, terdapat penurunan konsentrasi surfaktan sebesar 81,1 % baik saat kemarau maupun hujan. Kinerja Boezem sebagai kolam stabilisasi, merupakan fungsi waktu tinggal hidrolis dan laju biodegradasi BOD sebagaimana dijelaskan Persamaan 2.19. Laju

biodegradasi dalam air limbah merupakan fungsi suhu dan bakteri aktif, oleh karenanya suhu air dalam Boezem juga diukur. Pengukuran dilakukan selama 10 hari pada saat kemarau dan saat musim penghujan pada tiga titik yaitu 2 titik di area sisi Barat dan Timur dan satu titik di *outlet* menuju Boezem utara. Hasil pengukuran suhu disampaikan pada Lampiran II Tabel L-23 dan L-24. Suhu air rerata saat kemarau $(32,61 \pm 1,32)^{\circ}\text{C}$ dengan nilai minimum $31,13^{\circ}\text{C}$ dan nilai maksimum $34,53^{\circ}\text{C}$. Sedangkan di musim hujan suhu rerata $(30,19 \pm 1,09)^{\circ}\text{C}$ dengan suhu minimum $28,70^{\circ}\text{C}$ dan maksimum $32,07^{\circ}\text{C}$. Parameter suhu diukur pada pagi dan siang hari.

4.1.6. Kelayakan Kualitas Air Limbah Influen Boezem untuk Tumbuh Kembang Sistem Alga-Bakteri

Kuantitas air limbah perkotaan yang masuk ke dalam Boezem Morokrembangan sisi selatan lebih didominasi oleh aliran dari Kali Greges. Oleh karenanya, tinjauan kelayakan kualitas air limbah domestik untuk diproses dengan sistem alga-bakteri, akan menggunakan data kualitas air Kali Greges. Tabel 4.11 merupakan resume kualitas Kali Greges hasil kajian pada tahun 2010, 2011, 2013 dan 2014. Konsentrasi COD, BOD, N-NH_3^+ , P-PO_4^- , air limbah Kali Greges memenuhi persyaratan untuk pertumbuhan mikroalga sebagaimana disarankan Chin (2006). Rasio $\text{N-NH}_3^+/\text{P-PO}_4^-$ dan konsentrasi BOD diperkirakan mampu memenuhi kebutuhan nutrisi dan sumber karbon untuk pertumbuhan mikroalga. Kandungan nutrisi yang tinggi pada air limbah juga berperan sebagai stimulan dan telah mempercepat pertumbuhan tanaman gulma air. Tanaman gulma air didominasi tanaman Enceng Gondok, sebagaimana ditunjukkan Gambar 4.11. Kehadiran tanaman Eceng gondok di dalam Boezem, sesungguhnya sangat menguntungkan bila dikelola dengan baik. Banyak penelitian telah dilakukan terkait dengan pemanfaatan tanaman Eceng gondok sebagai pengendali pencemaran. Tanaman Eceng gondok mampu menurunkan Padatan Tersuspensi

Tabel 4.11 Nilai rerata parameter pencemar pada influen Boezem Morokrembangan dari Hilir Kali Greges

Parameter	Satuan	Rerata Konsentrasi Tahunan			
		2010	2011	2013	2014
TS	mg/L	658,96 ± 135,80	940,40 ± 37,60	926,00 ± 133,17	734,40 ± 93,11
TSS	mg/L	75,30 ± 31,65	37,60 ± 23,57	105,84 ± 15,22	90,40 ± 44,03
COD	mg/L	63,98 ± 8,46	182,40 ± 44,20	232,34 ± 59,46	65,18 ± 18,47
BOD	mg/L	31,00 ± 4,00	87,00 ± 21,00	111,00 ± 29,00	31,00 ± 9,00
N-NH ₃ ⁺	mg/L	19,22 ± 7,74	16,36 ± 4,99	30,90 ± 5,66	5,89 ± 2,55
P-PO ₄ ⁼	mg/L	0,11 ± 0,08	5,64 ± 1,14	10,02 ± 1,67	4,09 ± 1,90
Rasio N-NH ₃ ⁺ /P-PO ₄ ⁼	-		2,90	3,08	10,67

Perhitungan hasil Penelitian, 2014

(TSS), COD dan Nutrien (Polprasert., *et al.*,1998, Lu Jianbo., *et al.*, 2008). Tanaman ini mampu menurunkan logam berat dan sebagai media phytoremediasi (Hasan,2007;Xia H,2005).



(a)

(b)

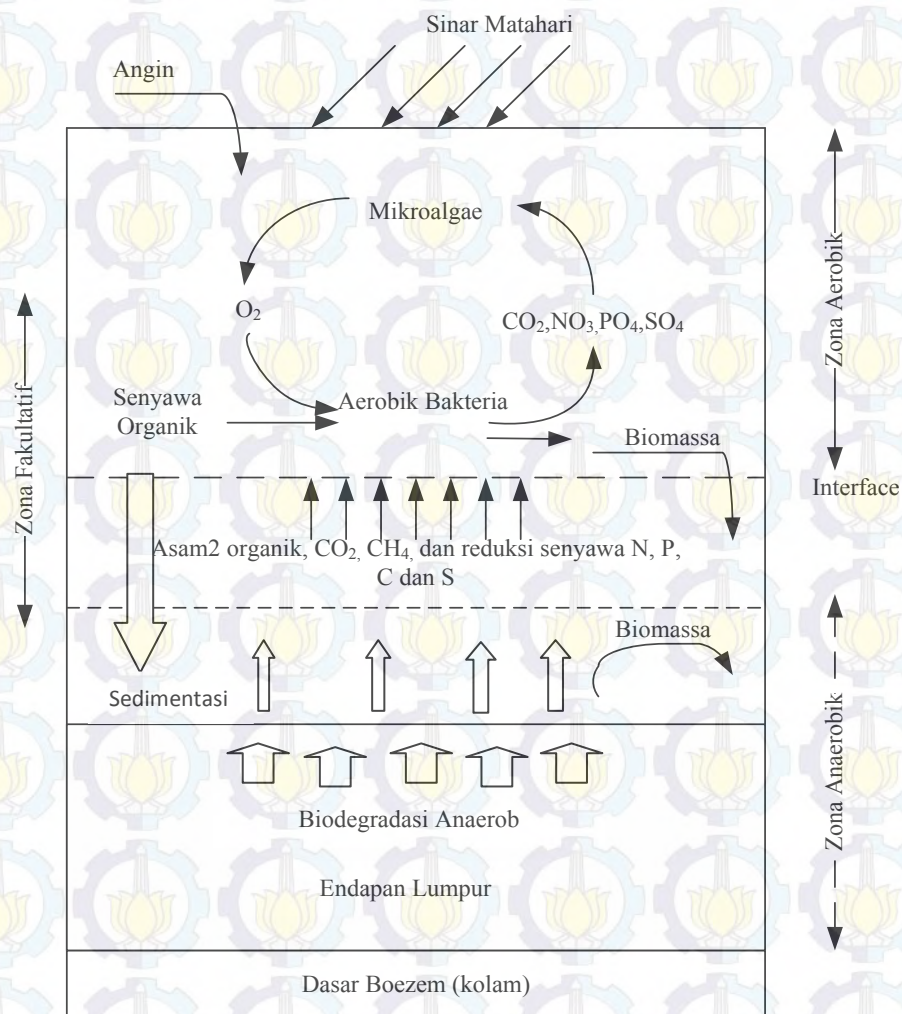
Gambar 4.11 Pertumbuhan tanaman Eceng Gondok di Boezem Morokrembangan bagian selatan (a) Dokumentasi tahun 2012 dan (b) tahun 2009.

4.1.7. Kinerja Boezem Morokrembangan Sisi Selatan

Secara alamiah Boezem Morokrembangan tidak hanya berfungsi sebagai kolam retensi air hujan, namun juga berfungsi sebagai kolam stabilisasi. Proses stabilisasi dapat melalui mekanisme pengendapan, biodegradasi anaerob maupun aerob sebagaimana dijelaskan dalam Gambar 4.12.

Penelitian tahun 2011 menunjukkan, pada siang hari badan air berada dalam suasana aerob (Gambar 4.7) dengan konsentrasi DO di atas 2,0 mg/L. Oksigen terlarut dapat berasal dari proses fotosintesis alga dan proses difusi dari udara atau reaerasi. Kecepatan angin berpengaruh pada laju reaerasi, dengan luasan Boezem yang besar, angin dapat meningkatkan turbulensi air dan menaikkan konsentrasi DO. Proses biodegradasi secara anaerobik akan terjadi pada zona *stagnant* di daerah endapan lumpur. Batas zona aerob pada Boezem tidak tetap, dipengaruhi oleh kemampuan penetrasi cahaya matahari dan tingkat turbulensi air akibat hembasan angin. Zona anaerob akan bergerak ke atas bila kekeruhan air meningkat karena penetrasi cahaya matahari terhambat, dan saat kecepatan angin rendah. Kondisi siang dan malam berpengaruh pada fluktuasi

pergerakan garis batas zona aerob dan anaerob. Zona dimana oksigen terlarut terjadi fluktuasi merupakan zona fakultatif. Pada zona ini, terjadi interaksi sangat kompleks, asam organik dan CO_2 akan diubah menjadi makanan bagi mikroorganisme lain. Dalam ekosistem alga-bakteri, biomassa yang mati akan mengendap ke dasar Boezem dan mengalami biodegradasi secara anaerob. Mekanisme simbiosis mutualisme alga-bakteri pada zona aerob, saat siang hari, alga mensuplai oksigen dan bakteri menghasilkan CO_2 dan nutrisi.



Gambar 4.12 Ilustrasi Proses Sistem Biologi dalam Boezem (diadop dari Polprasert, 1996, Metcalf & Eddy, 2003)

Penurunan konsentrasi zat pencemar dalam Boezem relatif berfluktuasi pada saat musim hujan maupun pada saat musim kemarau. Hasil penelitian lapangan sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 4.11, nampak bahwa konsentrasi TS berfluktuasi antara (594,44 – 940,4) mg/L, TSS pada kisaran (37,6 – 105,8) mg/L. Konsentrasi TSS sekalipun tidak besar, namun karena debit Kali Greges dan Kali Purwodadi cukup besar, menghasilkan endapan yang besar. Timbulan endapan terlihat secara visual sebagaimana dalam Gambar 4.3. Rendahnya konsentrasi TSS yang masuk kedalam Boezem dimungkinkan akibat telah terjadinya proses pengendapan pada badan air sungai dan saluran drainase. Hasil pengukuran kecepatan air pada muara Kali Greges relatif rendah yaitu sebesar 0,088 m/detik (Hasrijani, 2010), sehingga dimungkinkan terjadi proses pengendapan.

Laju akumulasi padatan total atau sedimen dasar hasil penelitian tahun 2010 dan 2011 disarikan pada Tabel 4.12. Hasil penelitian karakteristik sedimen didapatkan berat jenis sedimen dasar di zona pendangkalan sebesar 1540 kg/m^3 (Satwika, 2012). Bila laju biodegradasi dan pemadatan diabaikan, berdasarkan Tabel 4.12 diperkirakan laju akumulasi lumpur minimum $60,234 \text{ m}^3/\text{hari}$ dan maksimum $744,43 \text{ m}^3/\text{hari}$. Asumsi bila sedimentasi merata, laju timbulan sedimen Boezem seluas $\pm 37,6 \text{ Ha}$, minimum sebesar $0,0154 \text{ cm/hari}$ dan maksimum $0,1902 \text{ cm/hari}$. Penelitian lapangan menunjukkan proses sedimentasi terjadi pada zona tertentu sehingga tampak timbulan endapan muncul sangat cepat ke permukaan. Besarnya laju sedimentasi akan berpengaruh pada kinerja Boezem dalam menurunkan konsentrasi zat pencemar yang masuk ke dalamnya.

Hasil penelitian kinerja Boezem diringkas dalam Tabel 4.13 yang menunjukkan adanya variasi penurunan konsentrasi beberapa parameter pencemar. Konsentrasi TS tahun 2011 lebih tinggi dibandingkan tahun 2010 dan 2014. Penurunan konsentrasi TSS dan COD pada tahun 2014 lebih baik dibandingkan penelitian sebelumnya, karena Boezem telah direvitalisasi dan dilakukan pengerukan. Pengerukan pada tahun 2012 dan 2013 berdampak pada peningkatan volume penampungan air dalam Boezem dan meningkatkan waktu retensi. Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa Boezem memerlukan sentuhan

teknologi untuk pemulihan kualitas air limbah agar dapat memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

Tabel 4.12. Laju Akumulasi *Total Solid* atau Sedimen Dasar (Ton TS/hari)

Tahun Penelitian	Kemarau	Hujan
2010	222,023	1773,887
2011	467,626	889,600

Hasil Perhitungan, 2012

Tabel 4.13: Komparasi Kinerja Boezem tahun 2010, 2011 dan 2014.

Parameter	Rerata % Penurunan		
	2010	2011	2014
TS	32,8	10,6	35,1
TSS	8,9	25,7	14,4
COD	21,3	17,2	58,6
N-NH ₃ ⁺	24,0	30,4	21,8
P-PO ₄ ⁼	36,7	12,5	5,2

4.1.8. Kesimpulan Penelitian Lapangan terkait Kinerja Boezem Morokrembangan Sisi Selatan.

Penelitian lapangan terhadap debit, karakteristik air limbah domestik dan kinerja Boezem dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Boezem Morokrembangan sisi Selatan berfungsi ganda sebagai pengendali banjir dan penerima air limbah dari Kali Greges dan Kali Purwodadi. Area pelayanan Boezem seluas $\pm 25 \%$ wilayah Kota Surabaya, dengan debit air hasil pengukuran berkisar 1,81 - 22,18 m³/detik. Ppada beberapa titik lokasi timbul bau yang cukup menyengat.

- b. Parameter TS dan TSS pada influen Boezem cukup tinggi. Parameter ini memiliki kontribusi yang cukup besar pada terjadinya proses pendangkalan di dalam Boezem. Karakteristik air limbah dalam Boezem hasil penelitian tahun 2010, 2011, 2013 dan 2014 cukup berfluktuasi sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 4.11. Konsentrasi BOD, N-NH₃, P-PO₄ berfluktuasi. Saat kemarau, alga dapat tumbuh dan berkembang dengan konsentrasi klorofil-a pada outlet Boezem sebesar $(1,70 \pm 0,60)$. Kandungan detergen terukur sebagai Surfaktan = $(2,490 \pm 0,61)$ mg/L, dalam air Boezem juga mengandung phenol. Rasio BOD₅/COD = $(0,4793 \pm 0,011)$; N/P_t = 2,936; rasio TVS/TS di musim kemarau = 0,322 dan 0,478 di musim hujan. Salinitas saat musim kemarau sebesar $(0,63 \pm 0,034)$ ppt dan musim hujan sebesar $(0,452 \pm 0,093)$ ppt. Karakteristik air limbah influen Boezem memenuhi persyaratan untuk tumbuh dan berkembang alga dan bakteri.
- c. Laju pendangkalan dalam Boezem sangat besar. Bila proses biodegradasi pada sedimen diabaikan, diperkirakan laju akumulasi lumpur dalam Boezem Morokembangan sisi Selatan berkisar $(60,234 \text{ m}^3/\text{hari} - 744,43 \text{ m}^3/\text{hari})$. Akumulasi lumpur terkonsentrasi pada area yang relatif diam atau tenang. Laju timbulan endapan dalam Boezem diestimasi antara $(0,0154 - 0,1902)$ cm/hari dengan asumsi sedimen terdistribusi merata ke seluruh area Boezem.
- d. Alga dapat tumbuh dalam air Boezem, kecuali pada area sekitar *inlet* dari Kali Greges dan Kali Purwodadi. Diversitas alga cukup besar yang didominasi alga Genus *Oscillatoria sp.* Beberapa jenis alga lain yang tumbuh yaitu : *Spirulina sp*, *Chlorella sp*, *Euglena oxyuris*, *Euglena sp*, *Volvox sp*, *Caelastrum sp*. Diversitas alga berdasarkan analisa indeks Shannon berada pada kisaran $(0,999 - 1,506)$ dengan konsentrasi alga sebagai klorofil-a mencapai $(1,70 \pm 0,60)$ mg/L. Kajian pada jenis alga juga menunjukkan

- e. Boezem telah kehilangan kemampuan untuk memulihkan air limbah domestik, efluennya belum bisa memenuhi baku mutu badan air peruntukannya.

4.2. Penelitian Skala Laboratorium, Pengaruh Faktor Lingkungan pada Kinerja Sistem Alga-Bakteri

Laju pertumbuhan alga memegang peranan penting pada kinerja suatu sistem HRAP. Kecukupan sumber karbon, rasio N/P dan energi cahaya sangat dibutuhkan agar sistem alga - bakteri dapat bekerja dengan baik. Fallowfield (1985) menyatakan rasio ideal pertumbuhan alga yaitu COD : N: P = 100 : 15: 1. Hasil penelitian lapangan pada Tabel 4.11 menunjukkan rasio N-NH₃/P-PO₄ masih berada pada rentang nilai untuk pertumbuhan alga. Analisis nilai Total N dan P sangat dimungkinkan rasio N/P dapat memenuhi kondisi ideal pertumbuhan alga. Hasil penelitian tahun 2013, rasio N/P saat musim kemarau dan hujan berturut-turut 13,7 dan 14,71. Kehadiran senyawa organik *biodegradable* diperlukan dalam sistem HRAP agar diperoleh suplai CO₂ terlarut secara kontinyu dari proses biodegradasi. Polprasert (1996) menyatakan faktor lingkungan yang menentukan kinerja HRAP tidak hanya kecukupan sumber karbon dan nutrisi. Faktor fisik juga sangat berpengaruh meliputi durasi dan intensitas cahaya; kedalaman air; kondisi *mixing*; pH dan Temperatur. Penelitian dalam skala laboratorium mengkaji pengaruh lingkungan pada kinerja sistem alga-bakteri untuk pengolahan air limbah domestik dan penentuan koefisien biokinetik.

4.2.1. Penelitian Kinerja sistem alga-bakteri pada HRAP proses *Batch*

Penelitian kinerja HRAP, diawali dengan pengembangbiakan benih alga (pembibitan, *seeding*) dengan menggunakan benih (*seed*) dari kolam dari Boezem Morokrembangan. Pengembangbiakan benih dilakukan untuk mendapatkan konsentrasi klorofil-a dengan konsentrasi yang siap digunakan untuk operasional HRAP. Teknik pengadukan pada proses pembenihan menggunakan pompa celup

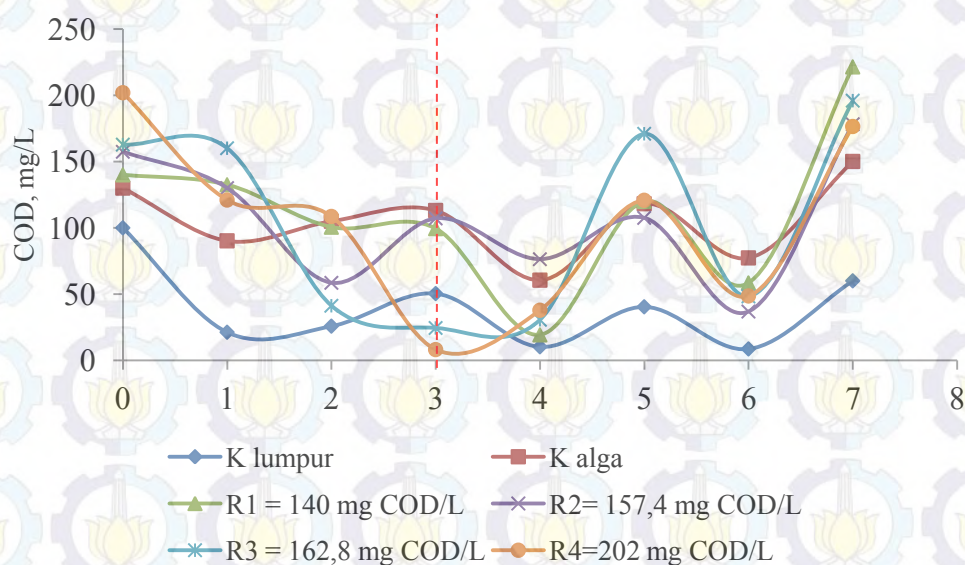
yang dioperasikan secara kontinyu selama 24 jam. Fallowfield (1985) dalam penelitiannya menyatakan, konsentrasi klorofil-a awal minimum untuk *seeding* sebesar $(0,53 \pm 0,05)$ mg chl-*a*/L. Hasil pembibitan sebagaimana ditunjukkan Gambar 4.13 telah diperoleh konsentrasi klorofil sebesar $(0,88 - 2,15)$ mg/L. Sehingga benih alga dapat diaklimatisasi menggunakan air limbah domestik dari Boezem. Aklimatisasi dilakukan untuk menyesuaikan alga dengan kondisi air Bozem, agar alga dapat tumbuh dan berkembang. Proses aklimatisasi dilakukan dengan menambahkan limbah dari Boezem secara bertahap, agar alga dapat menyesuaikan pada karakteristik air limbah. Waktu aklimatisasi sangat tergantung pada karakteristik air limbah dan sensitivitas benih alga. Pada penelitian ini, aklimatisasi dilakukan dalam waktu 2 minggu, dengan menambahkan gula dan pupuk sesuai rasio C:N:P pada air Boezem. Penelitian spesies alga hasil aklimatisasi menunjukkan bahwa jenis alga yang dalam biakan yaitu *Chlorella*; *Scenedesmus* dan *Oscillatoria*. Berbagai penelitian sebelumnya pada sistem HRAP jenis alga yang umum ditemukan antara *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Micractinium*, dan *Oscillatoria*. Kultur alga yang sering digunakan untuk pengolahan air limbah adalah *Chlorella sp* (Lim *et al.*, 2010).



Gambar 4.13 (a) Hasil Pembibitan dan (b) Aklimatisasi alga

Penelitian pendahuluan ditujukan untuk mencari rentang konsentrasi COD agar sistem alga – bakteri dapat berkembang biak dengan baik. Penelitian pendahuluan menggunakan air limbah buatan dengan komposisi COD : N-NH₃ :

$P-PO_4^- = 100 : 15 : 1$. Konsentrasi COD direncanakan pada rentang nilai konsentrasi tertinggi pada air limbah influen Boezem. Hasil penelitian memberikan petunjuk bahwa setelah hari ke tiga terjadi peningkatan konsentrasi COD. Peningkatan konsentrasi COD diperkirakan disebabkan adanya pelepasan kembali senyawa organik oleh alga setelah melewati waktu tertentu. Mara (2003) menyatakan waktu hidup sistem alga berada dalam kisaran (2-6) hari. Dalam rentang waktu tersebut, dimungkinkan sebagian alga akan mengalami kematian dan melepaskan senyawa organik keluar dari selnya. Senyawa organik ini terukur sebagai COD. Sehingga, perhitungan penentuan besarnya penurunan COD dihitung pada hari ke 3. Efisiensi penurunan COD pada HRAR sebagai indikasi kemampuan sistem alga - bakteri dalam pengolahan air limbah. Hasil penelitian variasi konsentrasi COD disampaikan dalam Lampiran Tabel L-32 – Tabel L – 35, dan secara grafis ditunjukkan dalam Gambar 4.14. Kajian kemampuan penurunan COD ditampilkan dalam Tabel 4.14.



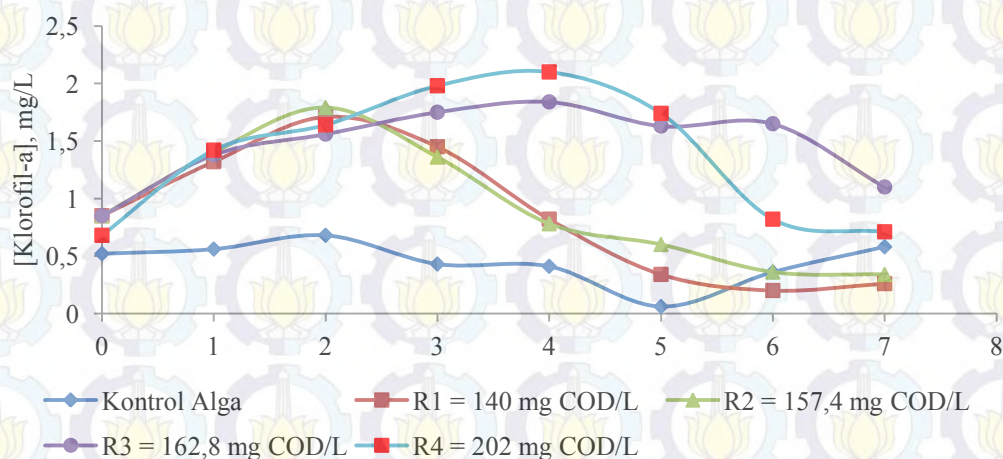
Gambar 4.14 Hasil Penelitian Pendahuluan penurunan COD pada HRAR

Tabel 4.14 menunjukkan reaktor kontrol dengan benih alga dari Boezem menghasilkan efisiensi penurunan COD sebesar 13 % sampai pada hari ke 3. Hal ini menunjukkan bahwa dalam benih alga terdapat mikroba yang mampu

mengonsumsi senyawa organik dalam air limbah. Reaktor kontrol dengan penambahan lumpur menunjukkan hasil penurunan COD lebih baik yaitu 49,6 % dengan konsentrasi COD sebesar 100 mg/L. Pada reaktor dengan penambahan lumpur dan benih alga menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi COD diperoleh kemampuan penurunan yang semakin besar. Gambar 4.15 menjelaskan pertumbuhan alga pada penelitian awal.

Tabel 4.14. : Hasil penelitian pendahuluan respon sistem Alga pada berbagai konsentrasi COD dengan waktu kontak 3 Hari.

HRAR	[COD] mg/L	Pemisihan COD (%)
Kontrol+lumpur ,	100	49,6
Kontrol + benih alga	130	13,0
R ₁	140	29,0
R ₂	157	32,0
R ₃	163	85,0
R ₄	202	96,0



Gambar 4.15 Profil Pertumbuhan Alga pada Penelitian Awal.

Profil pertumbuhan alga menunjukkan pada konsentrasi COD yang semakin besar diperoleh pertumbuhan alga lebih baik, selaras dengan penurunan COD. Semakin besar penurunan COD akan menghasilkan CO₂ lebih banyak dan

terjadi peningkatan pertumbuhan alga. Perbedaan kemampuan penurunan COD antara reaktor kontrol dan reaktor uji dengan penambahan lumpur menunjukkan adanya peran bakteri dalam penurunan konsentrasi COD.

4.2.1.1. Pengaruh Durasi Pencahayaan dan Kedalaman Air pada Kinerja Sistem HRAP.

Energi fotokimia sangat diperlukan pada proses fotosintesis dan berkembang biak alga. Penelitian dilakukan untuk mengkaji adakah pengaruh perpanjangan pencahayaan (*prolonged lighting duration*) pada peningkatan kinerja sistem alga-bakteri. Hal ini dilakukan berdasarkan hipotesis bahwa perpanjangan waktu pencahayaan diperkirakan akan mampu meningkatkan kinerja alga dan bakteri untuk pengolahan air limbah. Jika perpanjangan waktu pencahayaan memberikan efek positif, akan menjadi salah satu alternatif teknik peningkatan pemulihan kualitas air dalam Boezem Morokrembangan. Penelitian dilakukan dengan menggunakan air Boezem Morokrembangan yang ditingkatkan konsentrasi COD, N dan P menggunakan air limbah buatan. HRAR dioperasikan menggunakan pencahayaan secara alamiah dan artifisial di malam hari, dengan kedalaman air berbeda. Waktu tinggal 4 hari ditetapkan agar sistem tidak mengalami defisit nutrisi (Polprasert, 1996). Penambahan substrat dilakukan pada akhir hari ke 4 dengan pengulangan percobaan selama 5 kali.

A. Kemampuan Sistem HRAR Proses *Batch* dalam Menurunkan COD

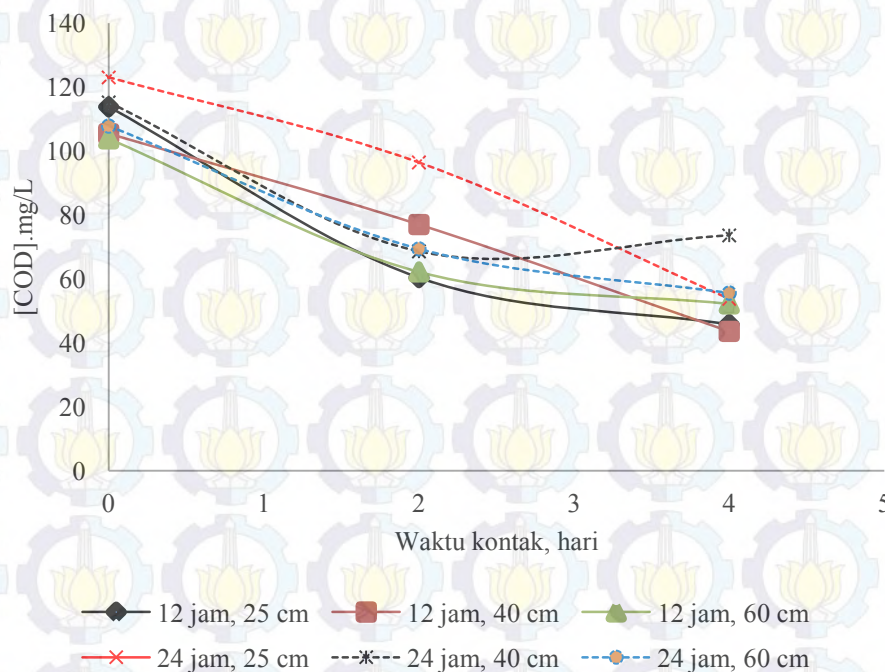
Pengukuran COD pada semua HRAR didapatkan konsentrasi COD awal yang bervariasi. Hasil penelitian perubahan COD secara keseluruhan disajikan dalam Lampiran III Tabel L - 34; L - 35 dan L - 46. Gambar 4.16 menjelaskan resume perubahan konsentrasi COD selama penelitian. Pengaruh pencahayaan pada berbagai kedalaman air dalam reaktor memberikan respon penurunan COD yang berbeda-beda. Perhitungan kemampuan penyisihan COD dalam penelitian ini dijelaskan dalam Tabel 4.15. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perpanjangan waktu aerasi tidak menghasilkan kenaikan prosentase penurunan COD.

Tabel 4.15 : Kinerja HRAR untuk penurunan konsentrasi COD dengan variasi kedalaman air dan HRT 4 hari.

Kedalaman Air, cm	Pencahayaannya (Jam)			
	12		24	
	COD _{Awal} (mg/L)	% Removal	COD _{Awal} (mg/L)	% Removal
25	113,8 ± 30,84	59,80	123,0 ± 65,83	56,26
40	105,4 ± 42,49	58,60	115,2 ± 33,66	36,11
60	103,8 ± 31,70	43,90	107,8 ± 36,79	48,42

Demikian pula penambahan kedalaman air juga tidak berpengaruh pada peningkatan prosentase penurunan COD. Hasil penelitian menunjukkan pada kedua perlakuan pencahayaan, HRAR dengan kedalaman air 25 cm memiliki kemampuan penurunan COD tertinggi. Selain itu, terdapat fenomena dimana pada konsentrasi COD yang lebih besar diperoleh penurunan konsentrasi COD yang lebih besar pula. Pada pencahayaan selama 24 jam, terdapat konsentrasi COD awal sedikit lebih besar dibandingkan konsentrasi COD dengan pencahayaan alami. Gambar 4.16, menjelaskan bahwa perpanjangan waktu pencahayaan tidak berpengaruh pada kinerja bakteri dalam penyisihan COD.

Oswald (1963) dalam percobaan skala laboratorium menyimpulkan bahwa kedalaman optimum untuk suatu HRAP berkisar antara 8 - 10 inch (20 - 25 cm). Polprasert, 1996, menyatakan bahwa pencahayaan yang terlalu lama dapat menyebabkan alga mengalami depresi dan akan mengeluarkan senyawa organik sebagai eksudat. Penelitian menunjukkan pada kedalaman air 60 cm, perpanjangan pencahayaan mampu menurunkan konsentrasi COD lebih besar bila dibandingkan pencahayaan alamiah. Perbedaan penurunan konsentrasi COD sekalipun relatif tidak besar, namun patut dicermati berbagai kemungkinan tumbuhnya bakteri fakultatif pada bagian dasar HRAR.

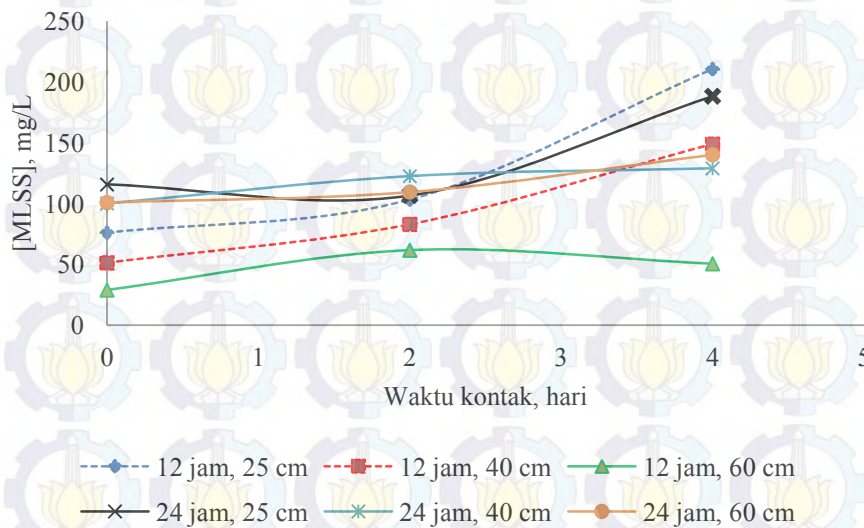


Gambar 4.16 Grafik perubahan konsentrasi COD pada HRAR proses *batch*, dengan variasi waktu pencahayaan dan kedalaman air.

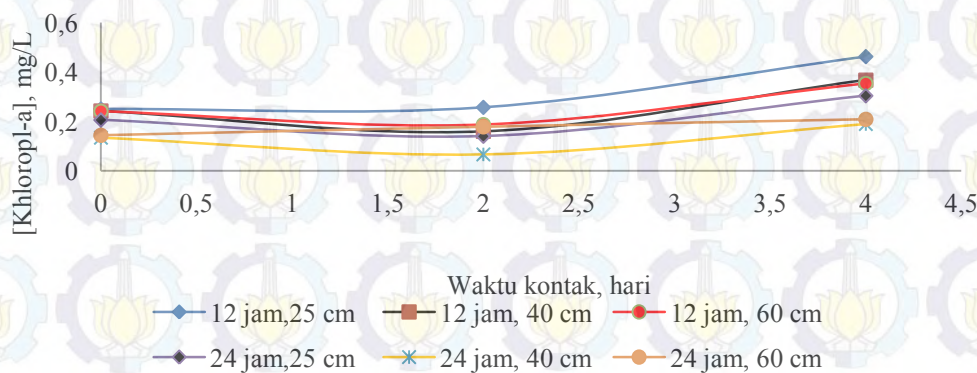
B. Efek Perpanjangan Pencahayaan pada perubahan [MLSS] Sistem Alga-Bakteri dalam HRAR Proses *Batch*

MLSS dalam HRAR terdiri dari sel - sel alga dan bakteri pengurai senyawa organik. Hasil penelitian perubahan konsentrasi MLSS dan alga ditampilkan dalam Lampiran III Tabel L-36 sampai dengan L-39, Tabel 4.16 menjelaskan hasil penelitian peningkatan konsentrasi MLSS dan alga. Sedangkan pola perubahan konsentrasi selama penelitian dijelaskan pada Gambar 4.17. dan 4.18. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perpanjangan pencahayaan tidak menghasilkan kenaikan MLSS. Pada Gambar 4.17 menunjukkan konsentrasi awal MLSS berbeda untuk semua variasi kedalaman air dan waktu pencahayaan. Pada pencahayaan secara alamiah (12 jam), kenaikan konsentrasi MLSS tertinggi terjadi pada HRAR dengan kedalaman air 25 cm. Sekalipun secara prosentase, HRAR dengan kedalaman 40 cm memiliki kenaikan terbesar. Pada kedalaman 60 cm pertambahan MLSS paling rendah. Hal ini dimungkinkan aktivitas bakteri

aerob tidak bisa tumbuh secara maksimal yang diikuti dengan lambatnya pertumbuhan alga. Pengamatan secara visual, air dalam HRAR dengan kedalaman 60 cm, terlihat mengalami perubahan warna hijau yang lebih relatif lambat. Hasil perhitungan berdasarkan Gambar 4.17 disampaikan pada Tabel 4.16, terlihat penambahan waktu pencahayaan, pertumbuhan alga relatif rendah dibanding dengan pencahayaan secara alamiah. Hal ini kemungkinan disebabkan mikroalga mengalami depresi. Sehingga perkembangan biakan alga terhambat bahkan memungkinkan timbul senyawa inhibitor yang berpengaruh pada pertumbuhan bakteri.



Gambar 4.17 Grafik pertambahan konsentrasi MLSS pada HRAR proses *batch*, dengan variasi waktu pencahayaan dan kedalaman air



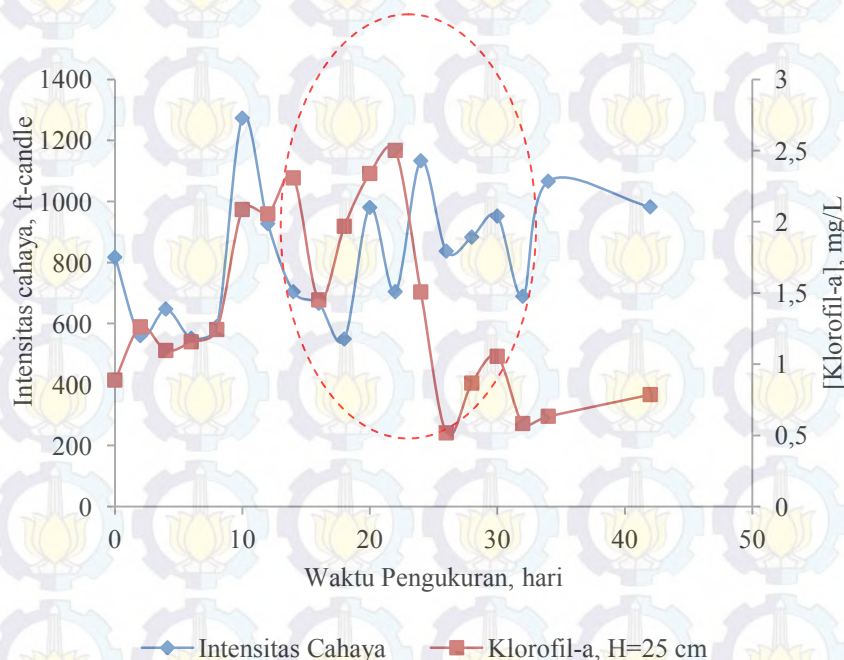
Gambar 4.18 Grafik peningkatan konsentrasi alga sebagai klorofil-a dengan variasi waktu pencahayaan.

Tabel 4.16 : Peningkatan konsentrasi rerata MLSS, mg/L dan Alga diukur sebagai Klorofil-a pada HRAR proses *batch*

Kedalaman Air, cm	Pencahayaannya			
	Alamiah		Penambahan di malam hari	
	MLSS	Klorofil-a	Klorofil-a	
	(%)	(%)	MLSS (%)	(%)
25	176,84	84,70	38,93	47,60
40	190,63	51,50	28,80	41,20
60	75,00	47,60	38,89	44,90

Secara umum, pada kedua perlakuan pencahayaan, peningkatan MLSS terbaik terjadi pada kedalaman 25 cm. Oswald, *et al* (1957) menyebutkan bahwa pada kedalaman 20 - 40 cm HRAR akan mencapai performa yang paling optimum. Pada kedalaman ini, produksi biomass alga dan kemampuan pengambilan nutrisi sangat baik. Gambar 4.18 menjelaskan pada kedalaman 25 cm dan pencahayaan secara alamiah terjadi kenaikan konsentrasi alga yang lebih baik. Pada kedalaman ini, tampak perpanjangan waktu pencahayaan tidak berpengaruh signifikan pada penambahan konsentrasi alga. Prediksi secara teoritis perpanjangan pencahayaan diperkirakan dapat meningkatkan aktifitas alga untuk berfotosintesa dan sekaligus melakukan reproduksi. Reynolds (2006) menjelaskan bahwa secara fisiologi, laju fotosintesa sangat dipengaruhi oleh suhu penyinaran, ketersediaan nutrisi dan CO₂. Perpanjangan pencahayaan diperkirakan akan meningkatkan suhu dalam internal sel alga dan menghambat laju proses fotosintesisnya. Tabel 4.16, menunjukkan kondisi yang berkebalikan. Pada kedalaman 60 cm, perpanjangan pencahayaan menghasilkan prosentase kenaikan konsentrasi alga lebih tinggi dibanding kedalaman air 40 cm. Bila dikaitkan dengan pernyataan Reynolds (2006), hal ini dapat dipahami, bahwa pada kedalaman 60 cm, dimungkinkan terjadi stratifikasi suhu. Dimana alga yang berada pada bagian terdalam masih dapat berfotosintesa atau melakukan pertumbuhan sel.

Hasil percobaan pada proses *batch* dengan injeksi substrat secara intermiten ditunjukkan pada Gambar 4.19. Hasil penelitian menunjukkan hubungan yang sangat erat antara besaran intensitas cahaya dan pertumbuhan alga. Setelah hari ke 10 nampak adanya pola perubahan yang sama antara besaran intensitas cahaya dan pertambahan konsentrasi alga. Penurunan konsentrasi alga pada hari ke 20, dimungkinkan karena alga mengalami penuaan. Kematian kultur alga tersebut menyebabkan kenaikan konsentrasi nutrisi, karena sel alga yang mati biasanya termineralisasi oleh bakteri heterotropik. Sehingga nitrogen organik yang terkandung di dalamnya terdaur ulang kembali kedalam air sebagai ammonia (Hargreaves, 1998). Hasil Penelitian dapat disimpulkan bahwa intensitas cahaya memegang peran penting bagi pertumbuhan alga, dan menunjang kinerja sistem alga - bakteri. Namun, intensitas cahaya berlebihan dapat menyebabkan kenaikan suhu sistem HRAR, sehingga dapat menghambat metabolisme bahkan mematikan sel-sel mikroalga.



Gambar 4.19 Korelasi intensitas cahaya dan konsentrasi klorofil-a dalam HRAR proses *batch*.

C. Efek Pencahayaan pada Mobilisasi Phosphat (P-PO₄) pada Sistem Alga - Bakteri dalam HRAR Proses *batch*.

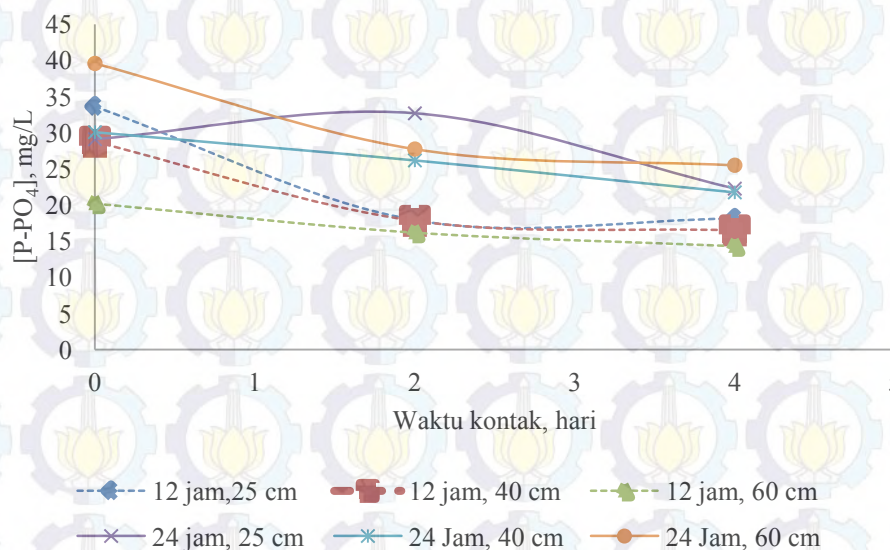
Unsur phosphat (P) memegang peranan penting bagi pertumbuhan alga. Namun kebutuhan unsur P oleh alga lebih kecil bila dibandingkan kebutuhan akan unsur N. Kebutuhan substrat untuk pertumbuhan alga memiliki rasio C:N:P = 106:16:1. Sehingga secara teoritis penyisihan P pada sistem alga - bakteri akan lebih kecil dibandingkan penyisihan unsur N. Mekanisme yang berperan penting pada penurunan P dalam HRAP adalah *uptake* oleh alga, immobilisasi di sedimen dan presipitasi sebagai fosfor-kalsium (Chen, 2003). Hasil penelitian dan analisis perubahan phosphat dalam sistem alga - bakteri ditampilkan dalam Lampiran III Tabel L – 40 dan L - 41. Penurunan konsentrasi phosphat sebagai P-PO₄⁻ dengan variasi pencahayaan ditunjukkan dalam Tabel 4.17.

Tabel 4.17 : Penurunan konsentrasi P-PO₄, mg/L pada HRAR proses *batch*

Waktu Penyinaran (Jam)	Kedalaman Air , cm					
	25		40		60	
	P-PO ₄ (mg/L)	penyisihan (%)	P-PO ₄ (mg/L)	penyisihan (%)	P-PO ₄ (mg/L)	penyisihan (%)
12	33,62	46,07	28,74	42,64	20,2	29,20
24	29,09	23,49	30,07	27,69	39,57	35,58

Pada semua variasi kedalaman dan pencahayaan menunjukkan tren penurunan PO₄⁻ seiring dengan bertambahnya waktu kontak sebagaimana pada Gambar 4.20. Semakin lama waktu kontak penyisihan phosphat semakin baik. Cromar (1997) menyebutkan waktu kontak yang lebih panjang meningkatkan konsentrasi alga, sehingga laju reduksi nutrien juga meningkat. Dalam sistem HRAR, penyisihan phosphat tidak hanya oleh alga, tetapi juga oleh bakteri untuk menyusun struktur selnya. Aktivitas bakteri aerob berlangsung lebih baik pada kedalaman air 25 cm, karena aktivitasnya *oxygent dependend*. Konsentrasi DO dipengaruhi oleh produksi oksigen hasil fotosintesis alga dan difusi oksigen dari atmosfer. Semakin dalam reaktor, konsentrasi DO terlarut semakin rendah. Penurunan konsentrasi phosphat tertinggi terjadi pada kedalaman air 25 cm. Sedangkan pada perpanjangan pencahayaan penurunan konsentrasi phosphat

terjadi pada kedalaman 60 cm. komparasi Gambar 4.18 dan 4.20 menunjukkan kesesuaian dengan penelitian terdahulu oleh Oswald *et al.*, 1957 dan Chang *et al.*, 2010. Dimana proses asimilasi alga berpengaruh pada penyisihan phosphat. Pada semua variasi penelitian, kenaikan konsentrasi MLSS selaras dengan kecenderungan penurunan konsentrasi phosphat. Hal ini bermakna bahwa sekalipun terjadi penurunan konsentrasi alga, namun dimungkinkan tetap terjadi kenaikan MLSS dari pertumbuhan bakteri. Dalam sistem HRAP penurunan phosphat tidak hanya oleh alga dan bakteri, namun bisa juga oleh phytoplankton dan tanaman gulma air lainnya.



Gambar 4.20 Grafik perubahan konsentrasi P-PO₄ dengan 5 kali ulangan pada HRAR proses *batch* dengan variasi durasi pencahayaan dan kedalaman air.

D. Efek Pencahayaan pada Mobilisasi N-NH₃ dan NO₃⁻ dalam Sistem Alga - Bakteri HRAR Proses *Batch*

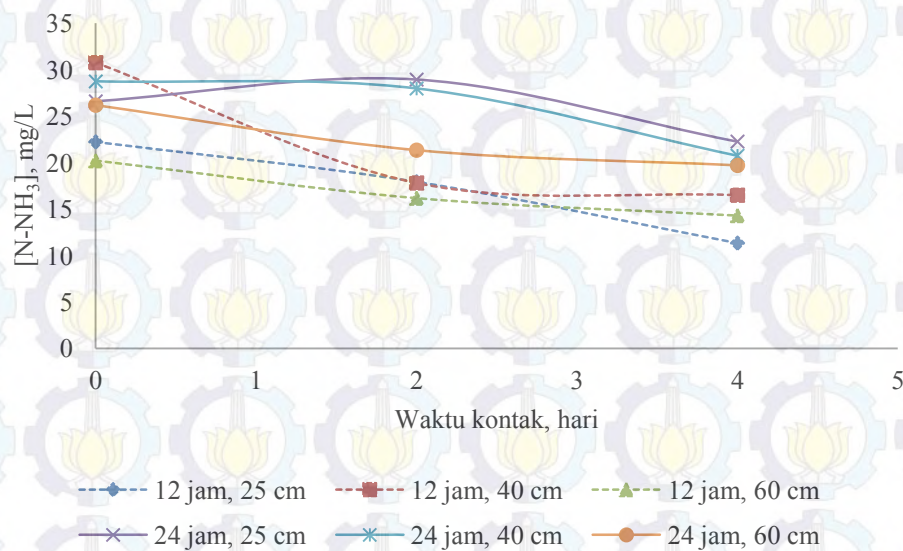
Hasil penelitian perubahan N-NH₃ dan N-NO₃ disampaikan dalam Lampiran III Tabel L - 42 sampai dengan L - 45. Hasil perhitungan penyisihan nitrogen yang diukur sebagai N-NH₃ dan N-NO₃ ditampilkan pada Tabel 4.18 dan 4.19. Sedangkan pola perubahan konsentrasi Nitrogen ammonia dan Nitrogen nitrat ditampilkan pada Gambar 4.21 dan 4.22. Pada pencahayaan secara alamiah

terjadi penurunan konsentrasi N-NH₃ dan N-NO₃ untuk kedalaman 25 dan 40 cm. Namun pada kedalaman air 60 cm, terjadi penyisihan N-NO₃ lebih baik justru dengan perlakuan perpanjangan waktu pencahayaan. Alga cenderung untuk meng-*uptake* amonia terlebih dahulu dibandingkan dengan nitrat, hasil penelitian menunjukkan kecenderungan yang sama. N-ammonia lebih “disuka” alga, karena lebih cepat disintesa menjadi asam amino, sedang nitrat cenderung lebih stabil (Graham, 2000 dan Mostert, 1987). Proses nitrifikasi akan terjadi bila suhu dan konsentrasi DO cukup memadai, dimana bakteri nitrifikasi akan mengkonversi N-ammonia menjadi N-nitrat. Pada Tabel 4.18 tampak bahwa pada pencahayaan secara alamiah diperoleh prosentase penurunan N - ammonia lebih baik pada semua kedalaman air. Penambahan waktu pencahayaan di malam hari, bisa jadi alga mengalami “depresi” dan tidak melakukan *uptake* nitrogen ammonia.

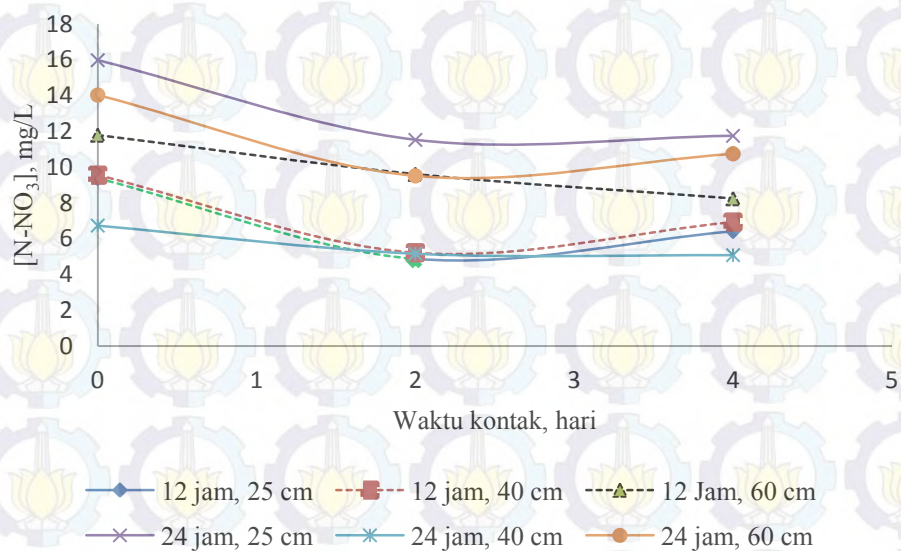
Tabel 4.18: Penyisihan konsentrasi N-NH₃, mg/L pada HRAR proses *batch*

Waktu Pencahayaan, Jam	Kedalaman Air , cm		
	25	40	60
12	49,00 %	46,37 %	29,20 %
24	16,30 %	27,79 %	24,54 %

Pada sistem kultur akuatik, ammonia diproduksi dari ekskresi kultur organisme dan mineralisasi dari zat-zat organik (Hargreaves, 2006). Hargreaves (1998) menyatakan penurunan N- ammonia dalam kultur akuatik lebih disebabkan adanya mekanisme *uptake* oleh phytoplankton dan proses nitrifikasi. Penurunan ammonia akibat volatilisasi dan fiksasi ammonium melalui mekanisme pertukaran kation sangatlah kecil. Phytoplankton berperan penting sebagai pengoksidasi dan merupakan mekanisme yang dominan dalam penyisihan N-ammonia (Hargreaves, 2006). Alga menggunakan ammonia sebagai sumber nitrogen untuk membangun material protein sel alga dengan reaksi fotosintesis. Pada HRT yang cukup panjang, antara (3-4) hari, temperatur dan intensitas cahaya optimum, hampir seluruh nitrogen-ammonia muncul dalam bentuk material sel alga (Polprasert, 1996).



Gambar 4.21 Grafik perubahan konsentrasi N-NH_3 dengan 5 kali ulangan pada HRAR proses *batch* dengan variasi durasi pencahayaan dan kedalaman air



Gambar 4.22. Grafik perubahan konsentrasi N-NO_3 dengan 5 kali ulangan pada HRAR proses *batch* dengan variasi durasi pencahayaan dan kedalaman air

Tabel 4.19 : Penyisihan N-NO_3 , mg/L pada HRAR proses *batch*

Waktu Pencahaya-an, Jam	Kedalaman Air , Cm		
	25	40	60
12	59,80 %	58,60%	43,90%
24	56,26 %	36,11 %	48,42 %

Chen (2003), dalam penelitiannya menyatakan bahwa proses nitrifikasi yang masif, sangat dipengaruhi oleh kestabilan pH dan DO dalam HRAP. Waktu tinggal atau waktu reaksi berpengaruh pada proses nitrifikasi. Cromar (1997) menyatakan bila waktu kontak di atas 4 hari maka dimungkinkan akan terjadi proses nitrifikasi. Penurunan nitrat dimungkin lebih disebabkan akibat *uptake* oleh bakteri aerob untuk pembentukan selnya. Metcalf dan Eddy (2004) menyatakan $\pm 12,4$ % struktur biomassa tersusun dari atom nitrogen. Pertambahan konsentrasi MLSS merupakan indikator adanya pertumbuhan bakteri selain alga. Penelitian menunjukkan adanya kenaikan MLSS dan alga, sehingga dapat dipahami penurunan N-ammonia dan N-nitrat lebih disebabkan kontribusi pertumbuhan alga. Perpanjangan pencahaya-an tidak meningkatkan konsumsi N-nitrat sebagaimana dijelaskan dalam Gambar 4.22. Pada semua variasi kedalaman air, pencahaya-an alamiah menghasilkan penurunan nitrat lebih baik dibandingkan dengan pencahaya-an selama 24 jam. Pengukuran pada hari ke 4, nampak bahwa hampir pada semua kedalaman air, terjadi kenaikan konsentrasi N-NO_3 . Pada hari ke 3(tiga) dimungkinkan bakteri nitrifikasi mulai aktif bekerja untuk mengkonversi nitrogen, sebagaimana dijelaskan Sawyer,*et al* (1994).

Hasil Penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 4.15 sampai 4.19 dapat disimpulkan bahwa Kinerja HRAR terbaik pada kedalaman air 25 cm. Kemampuan reduksi COD maksimum sebesar 59,8% dengan waktu kontak selama 4 hari. Hasil penelitian terdahulu dengan sistem HRAR mampu mereduksi COD sampai 63% (Lim, 2010) bahkan dapat mencapai 93% (Bich, 1999). Kemampuan reduksi COD sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain konsentrasi bakteri aktif dan lingkungan yang mendukung kinerja bakteri. Penyisihan nutrien sebagai N-NH_3 ; N-NO_3 ; dan P-PO_4 masing - masing sebesar

49,0%; 59,8% dan 46,07%. Penelitian terdahulu oleh Garcia *et al.* (2000) sistem HRAP mampu menurunkan nitrogen sebesar (57-75)% dengan konsentrasi awal ($41,3 \pm 12,7$) mg/L. Sedangkan Chen, *et al.*, (2003) mendapatkan penurunan phosphat sebesar 44 % dengan konsentrasi awal phosphat 3,7 mg/L. Tinjauan pada pertumbuhan konsentrasi klorofil-*a* dan kemampuan penyisihan nutrisi, disimpulkan bahwa pencahayaan alamiah lebih efektif untuk kinerja sistem alga - bakteri. Kedalaman air memberikan pengaruh signifikan terhadap konsentrasi oksigen terlarut dan reduksi konsentrasi nitrat.

E. Analisis Statistik Pengaruh Variabel Kedalaman Air dan Pencahayaan pada Kinerja sistem alga - bakteri dalam HRAR.

Pengujian pengaruh variasi kedalaman dan lama waktu pencahayaan pada kinerja HRAR secara *batch* dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 16. Hipotesis penelitian adalah lama waktu pencahayaan dan kedalaman air berpengaruh pada penurunan konsentrasi COD; N-NH₃; N-NO₃; P-PO₄, peningkatan konsentrasi MLSS dan klorofil-*a*. Pengujian hipotesis dilakukan dengan analisis statistik GLM ANOVA, dimana hasil analisis disampaikan dalam Lampiran V. Hasil uji GLM ANOVA untuk respon % penurunan COD pada pencahayaan 12 dan 24 jam dengan faktor mempengaruhi yaitu kedalaman air. Pada faktor pencahayaan didapatkan nilai p-value sebesar 0,024 yang selanjutnya diputuskan Tolak H₀. Sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor pencahayaan berpengaruh secara signifikan terhadap respon % penurunan COD dalam HRAR.

Pada faktor kedalaman air didapatkan nilai p-value sebesar 0,403 yang selanjutnya diputuskan gagal Tolak H₀. Sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor kedalaman tidak berpengaruh secara signifikan terhadap respon % penurunan COD pada pencahayaan selama 24 jam. Sedangkan faktor HRT didapatkan nilai p-value sebesar 0,000 yang selanjutnya diputuskan Tolak H₀. Sehingga dapat disimpulkan, HRT berpengaruh secara signifikan terhadap respon % penurunan COD. Secara keseluruhan disimpulkan, pencahayaan, dan HRT berpengaruh pada respon % penurunan COD sebesar 91,8% .

4.2.1.2 Pengaruh Aerasi pada Kinerja HRAP Proses *Batch*.

Penurunan senyawa organik pada sistem HRAP lebih disebabkan oleh kinerja bakteri aerob. Kecukupan oksigen terlarut merupakan suatu keharusan dalam sistem aerob. Sistem HRAP dengan konsentrasi alga tinggi, seringkali mengalami defisit oksigen terlarut saat malam hari. Pada kondisi ini, terjadi kompetisi konsumsi oksigen antara bakteri dan alga, sehingga memungkinkan terjadinya penurunan efisiensi penyisihan senyawa organik. Penelitian dilakukan untuk mengkaji adakah pengaruh aerasi pada peningkatan kinerja sistem alga - bakteri. Hal ini dilakukan berdasarkan hipotesis bahwa kecukupan DO diperkirakan akan mampu meningkatkan kinerja sistem alga - bakteri. Apabila perpanjangan waktu pencahayaan memberikan efek positif pada kinerja sistem alga-bakteri, maka akan menjadi bagian rencana teknis peningkatan kinerja Boezem. Penelitian dilakukan menggunakan HRAR yang dioperasikan dengan proses *batch* dan perlakuan aerasi selama 12 dan 24 jam. Kedalaman air ditetapkan 30 cm sebagaimana hasil penelitian sebelumnya, dan agar penetrasi cahaya matahari sampai di bagian terdalam. HRT ditetapkan 4 hari agar sistem HRAR tidak mengalami kekurangan nutrisi (Polprasert, 1996). Percobaan dilakukan dengan menggunakan air Boezem yang ditingkatkan konsentrasi COD, N dan P dari larutan induk air limbah sintetis.

Hasil penelitian disampaikan pada Lampiran III Tabel L - 49 sampai dengan L - 52. Perubahan konsentrasi DO disajikan dalam Tabel 4.20, dimana pengukuran dilakukan pada sore dan pagi hari. Penambahan aerasi di malam hari dan aerasi selama 24 jam tidak menunjukkan perbedaan signifikan dibandingkan dengan hasil percobaan tanpa perlakuan aerasi (kontrol). Pada HRAR kontrol nilai DO berada di atas 3,0 mg/L, memenuhi persyaratan kondisi aerob minimal 2,0 mg/L. Efek aerasi pada kinerja sistem HRAR dihitung berdasarkan prosentase penyisihan polutan disampaikan pada Tabel 4.21. Perlakuan aerasi selama 24 jam menghasilkan penurunan konsentrasi COD dan nutrisi lebih baik dibandingkan dengan aerasi di malam hari saja. Produksi alga pada HRAR kontrol jauh lebih baik, dibandingkan dengan penambahan perlakuan aerasi. Namun efisiensi penurunan COD dan nutrisi pada HRAR kontrol tidak lebih baik bila dibandingkan sistem dengan penambahan aerasi. Rendahnya produksi alga pada

sistem dengan penambahan aerasi diperkirakan tergeser oleh aktivitas bakteri. Pada Tabel 4.21 tampak bahwa perpanjangan waktu aerasi menghasilkan penurunan COD dan nutrisi lebih baik.

Tabel 4.20 Profil Konsentrasi DO Sistem HRAR Proses *Batch*

Perlakuan Aerasi	Pengukuran, hari ke	DO, mg/L
Kontrol	0	3,10 ± 1,37
	2	3,08 ± 1,44
	4	4,10 ± 1,27
12 Jam, malam hari	0	4,30 ± 0,94
	2	5,20 ± 0,73
	4	5,32 ± 1,17
24 Jam, malam hari	0	4,18 ± 0,44
	2	4,42 ± 0,61
	4	5,04 ± 1,21

Tabel 4.21 Kinerja Sistem HRAR Proses *Batch* dengan Perlakuan Waktu Aerasi

Perlakuan Percobaan	Efisiensi Penyisihan, (%)				Peningkatan Konsentrasi (%)	
	COD	N-NH ₃	N-NO ₃	P-PO ₄	MLSS	Klorofil-a
Kontrol	34,10	62,00	40,00	42,00	32,23	278,57
Aerasi 12 Jam	56,10	62,00	64,40	38,60	57,50	47,80
Aerasi 24 Jam	63,40	71,30	64,70	80,90	101,70	80,40

Konsentrasi MLSS juga mengalami kenaikan cukup signifikan. Sebaliknya penambahan konsentrasi klorofil-a pada HRAR kontrol meningkat cukup signifikan. Disamping itu, rendahnya produksi alga pada penambahan aerasi diperkirakan adanya peningkatan turbulensi yang berdampak pada proses pertumbuhan sel. Hal ini menunjukkan bahwa alga lebih dapat berkembang pada

kondisi air yang relatif tenang atau laminar. Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa aerasi berpengaruh terhadap kinerja bakteri dan meningkatkan kinerja HRAR, namun dapat memperlambat pertumbuhan alga. Teknik aerasi dengan mengatur aliran air, tidak hanya meningkatkan DO, juga untuk menjaga agar alga dapat tumbuh dan berkembang.

4.2.1.3. Analisis Biokinetika Sistem HRAR Proses Batch pada Kondisi Salinitas, pH.

Pertumbuhan alga dipengaruhi oleh parameter lingkungan, antara lain salinitas dan perubahan derajat keasaman, pH (Bartley *et al.*, 2013). Salinitas air dapat mempengaruhi pertumbuhan dan komposisi sel mikroalga, dimana spesies alga memiliki rentang salinitas optimum yang berbeda-beda. Salinitas air dalam Boezem berfluktuasi akibat terdampak pasang surut air laut dari selat Madura. Perubahan salinitas biasanya mempengaruhi pertumbuhan fitoplankton yang berpengaruh pada besaran nilai koefisien biokinetik. Parameter biokinetik yang dianalisis yaitu laju pertumbuhan spesifik (μ dan μ_{max}), koefisien produksi Y (Yield Coefficient), koefisien saturasi substrat (K_s). Penelitian diawali dengan pengukuran salinitas air Boezem saat pasang pada musim hujan dan musim kemarau. Salinitas air Boezem saat musim hujan dan kemarau yang diambil saat air pasang (jam 10.00 – 12.00) ditampilkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22. Nilai Salinitas air Boezem Morokrembangan tahun 2013

Waktu Sampling (hari ke)	Musim Hujan		Musim Kemarau	
	Boezem Utara	Boezem Selatan	Boezem Utara	Boezem Selatan
1	0,98	0,79	4,00	1,37
2	0,78	0,50	2,58	0,98
3	0,55	0,32	2,79	1,43
4	0,64	0,54	2,88	1,35
5	0,74	0,51	2,55	1,12
rata-rata	0,74	0,53	2,96	1,25
Min	0,55	0,32	2,55	0,98
Max	0,98	0,79	4,00	1,43

Salinitas air Boezem Morokrembangan sisi selatan lebih rendah dibandingkan dengan salinitas Boezem sisi utara. Hal ini bisa dipahami bahwa Boezem utara bersentuhan langsung selat Madura. Selain itu ke dua Boezem dipisahkan dengan pintu air, sehingga pengaruh pasang surut air laut relatif kecil pada sisi selatan. Ada perbedaan konsentrasi salinitas antara musim hujan dan musim kemarau. Pada Boezem utara, secara rerata terjadi kenaikan 4 kali lipat, sedangkan Boezem selatan hanya mengalami peningkatan sebesar 1,5 kali saja.

Penelitian dilakukan dengan variasi pH 4,5; 6; dan 9 dengan derajat salinitas sebesar 0,8 ppt dan 1,5 ppt. Salinitas dipilih mewakili kondisi ekstrem saat musim hujan dan kemarau. Kandungan zat organik dalam penelitian divariasikan pada konsentrasi COD sebesar 75,5; 179,4 dan 232 mg/L. Konsentrasi COD dibuat lebih besar dari konsentrasi maksimal yang ada dalam Boezem. Hal ini dimaksudkan untukantisipasi bila ada peningkatan beban pencemaran dan untuk menguji kehandalan kinerja sistem HRAP. Penelitian dilakukan dengan menggunakan beberapa buah HRAR dengan variasi COD dan kadar salinitas yang berbeda. Benih alga diambil dari Boezem Morokrembangan diasumsikan telah beradaptasi dengan air limbah yang terkontaminasi salinitas air laut. Penelitian diawali dengan uji aklimatisasi benih alga dengan konsentrasi COD lebih tinggi dari rerata konsentrasi COD dalam Boezem. Data hasil penelitian untuk penentuan koefisien biokinetik disampaikan pada Lampiran III, Tabel L-53 sampai dengan Tabel L-70. Analisis data untuk penentuan nilai laju pertumbuhan spesifik dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara waktu pertumbuhan (t) dan $\ln(X)$ yang ditampilkan dalam Lampiran III Gambar L.1 sampai dengan Gambar L.7. Nilai X merupakan refleksi dari kandungan mikroorganisme sebagai VSS dan biomassa alga yang diukur sebagai konsentrasi klorofil- a . Laju pertumbuhan ditentukan pada saat alga berada pada fase perkembangan eksponensial. Hasil penelitian menunjukkan fase eksponensial rata-rata terjadi hingga hari ke-3. Oleh karena itu perhitungan nilai μ berdasarkan data analisis hari ke-0 sampai hari ke-3. Analisis laju pertumbuhan spesifik berbasis VSS ditentukan dengan metode regresi linier, sebagaimana dicontohkan dalam Gambar 4.23 dan 4.24. Tabel 4.23 menjelaskan nilai μ pada HRAR kontrol, sedangkan Tabel 4.24 nilai μ pada berbagai pH dan salinitas variabel penelitian.

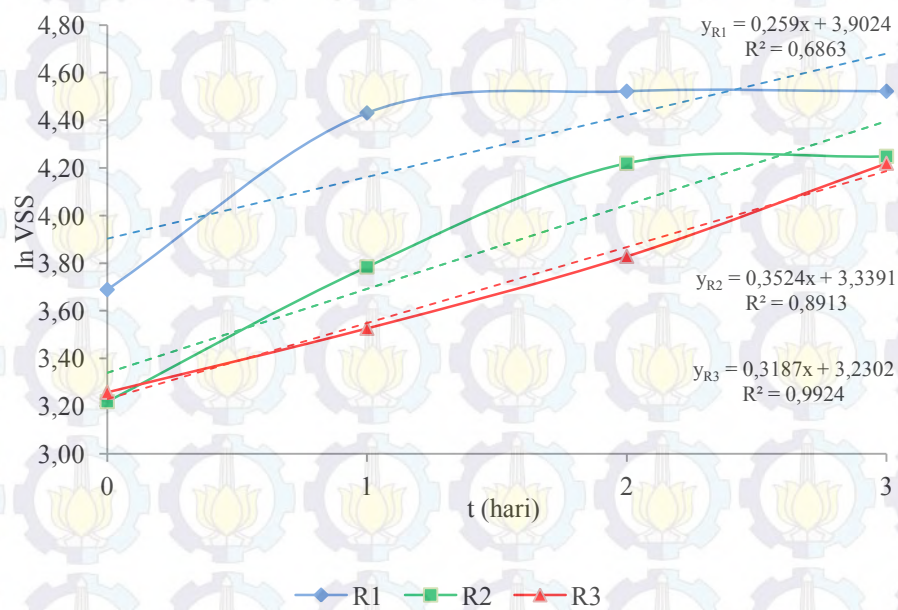
Tabel 4.23 : Nilai laju pertumbuhan spesifik pada HRAR kontrol

COD, mg/L	μ (hari^{-1})	
	Berdasarkan VSS	Berdasarkan Klorofil <i>a</i>
75,5	0,259	0,668
179,4	0,351	0,653
232,0	0,486	0,835

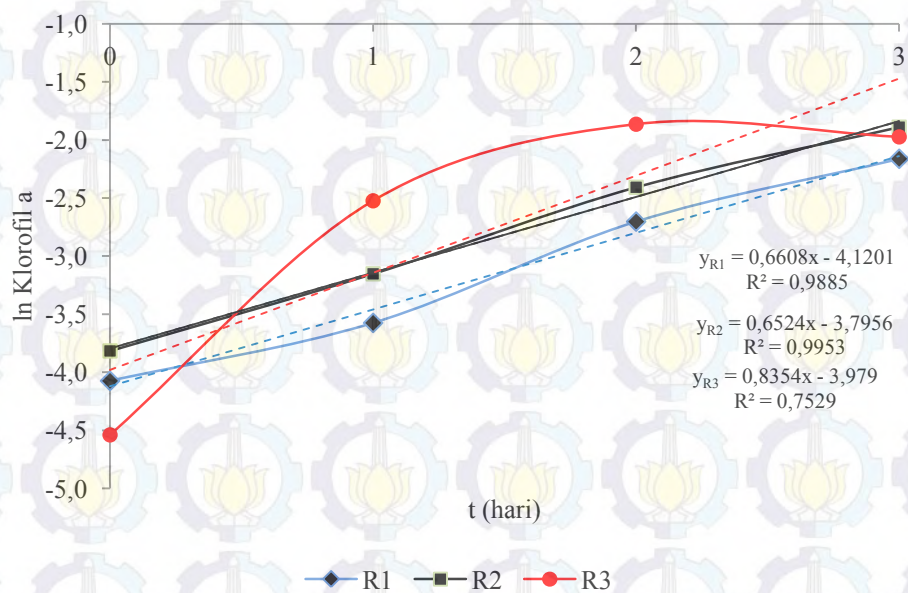
Tabel 4.24. Nilai Laju Pertumbuhan Spesifik Rerata Pada Beberapa Salinitas

Salinitas	μ rerata (hari^{-1})	
	Berdasarkan VSS	Berdasarkan Klorofil - <i>a</i>
pH = 4,5		
0,8 ppt	0,124	0,383
1,5 ppt	0,158	0,329
pH = 6		
0,8 ppt	0,320	0,482
1,5 ppt	0,310	0,513
pH = 9		
0,8 ppt	0,358	0,596
1,5 ppt	0,397	0,577

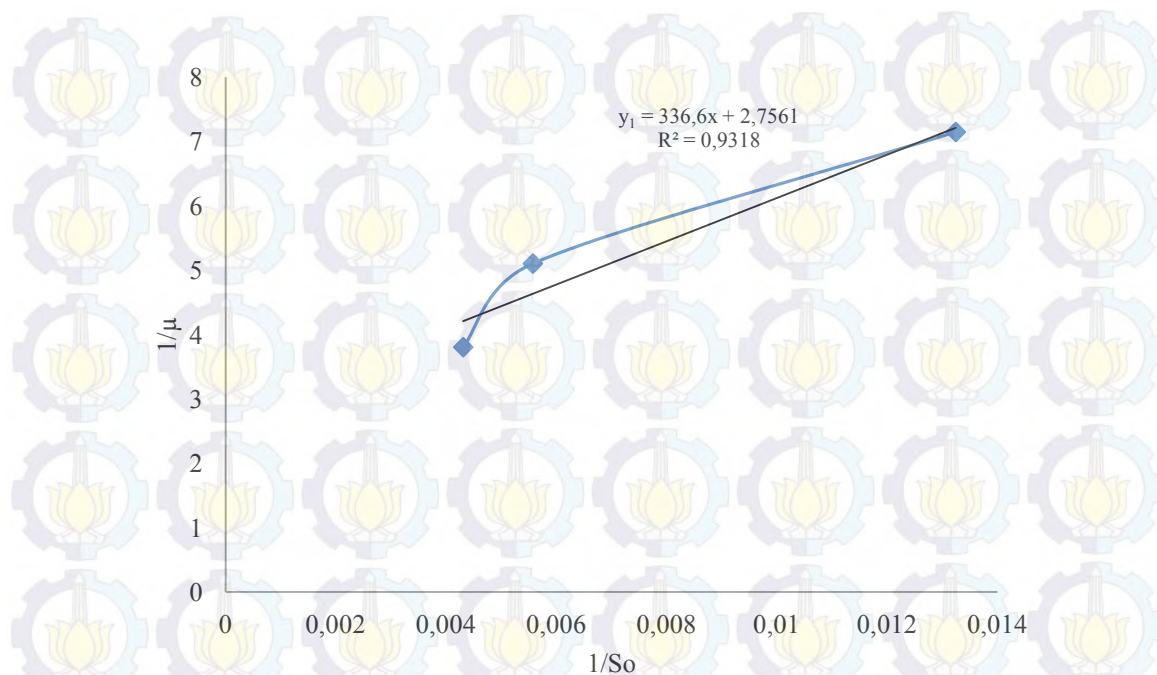
Nilai μ_{\max} dan K_s ditentukan berdasarkan Persamaan 2.12, nilai K_s dan μ_{\max} dicari dengan membuat kurva linier $1/\mu$ Vs $1/S$. μ_{\max} ditentukan berdasarkan intercept yang selanjutnya digunakan untuk menentukan K_s dari nilai slope kurva hasil linierisasi persamaan Monod. Gambar 4.25 salah satu contoh penentuan koefisien biokinetik sistem alga - bakteri untuk pengolahan air limbah dari Boezem Morokrengan. Analisis secara keseluruhan disampaikan dalam Lampiran II Gambar L.8 sampai dengan L.10. Koefisien biokinetik bersifat spesifik karena berasal dari ekosistem di Boezem Morokrengan. Hasil nilai K_s dan μ_{\max} selengkapnya untuk berbagai percobaan dengan salinitas dan pH berbeda ditampilkan pada Tabel 4.25.



Gambar 4.23 : Contoh Penentuan laju pertumbuhan biomassa pada HRAR kontrol



Gambar 4.24. Contoh Penentuan Laju Pertumbuhan alga pada HRAR kontrol



Gambar 4.25 Contoh Penentuan K_s dan μ_{\max} pada HRAR pH 4,5; salinitas 0,8 ppt

Identifikasi menunjukkan alga jenis *Oscillatoria* sp yang merupakan alga hijau biru mendominasi dalam penelitian sistem alga-bakteri. Alga jenis ini lebih toleran terhadap perubahan salinitas. Kondisi tumbuh alga pada penelitian ini termasuk dalam kondisi payau karena nilai salinitasnya di bawah 30 ppt. Tabel 4.23, 4.24 dan 4.25, menunjukkan, percobaan variasi salinitas tidak memberikan perbedaan pada laju pertumbuhan spesifik. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa pada salinitas yang lebih tinggi sistem alga - bakteri dapat berkembang cukup baik.

Koefisien produksi, Y (*yield coefficient*) merupakan indikator besarnya produksi biomass dari suatu sistem biologi. Semakin besar nilai Y dalam pada sistem pengolahan air limbah, bermakna air limbah mudah diproses secara biologi. Pada penelitian proses *batch*, nilai ditentukan dengan membuat kurva linier dari persamaan : $\frac{\Delta X}{X} = Y \frac{\Delta S}{X} + k_d$. Hasil perhitungan dan kurva penentuan nilai Y dan k_d tampilkan pada Lampiran III Tabel L-77 dan Tabel L-78. Analisis ditampilkan dalam Gambar L.11 sampai dengan Gambar L.13. Hasil perhitungan nilai Y dan k_d berbasis VSS di tampilkan pada Tabel 4.26.

Tabel 4.25 : Nilai μ_{\max} dan K_s pada berbagai variasi salinitas

pH	Salinitas	Berbasis VSS		Berbasis Klorofil <i>a</i>	
		μ_{\max} (1/hari)	K_s (mg/L)	μ_{\max} (1/hari)	K_s (mg/L)
4,5	0,8 ppt	0,363	122,13	0,752	61,00
	1,5 ppt	0,456	107,22	0,494	56,28
6	0,8 ppt	0,314	81,54	0,557	70,12
	1,5 ppt	0,346	73,02	0,552	30,67
9	0,8 ppt	0,255	128,97	0,650	90,23
	1,5 ppt	0,658	278,50	0,637	74,25
Kontrol		0,376	35,29	0,723	22,63

Tabel 4.26 : Nilai Y dan k_d berbasis VSS pada berbagai salinitas

pH	salinitas	Y (mgVSS/mg COD _r)	K_d (1/hari)
4,5	0,8	0,2566	0,0945
	1,5	0,6054	0,0360
6	0,8	0,3330	0,1620
	1,5	0,7994	0,0483
9	0,8	0,1419	0,1323
	1,5	0,6264	0,0530

Hasil penelitian menunjukkan pada kondisi lingkungan dengan salinitas lebih tinggi nilai koefisien biokinetik lebih besar hampir pada semua pH. Pada semua nilai pH diperoleh nilai Y yang lebih tinggi pada salinitas 15 ppt. Nilai Y sebagai produksi VSS per satuan massa COD tersisihkan untuk semua pH diperoleh nilai diatas 0,60. Nilai VSS dalam sistem HRAR terdiri dari konsentrasi bakteri dan alga, berbeda dengan VSS dalam sistem lumpur aktif biasa. Pada sistem lumpur aktif biasa, nilai VSS murni mewakili jumlah bakteri pengurai.

Pengaruh salinitas pada kinerja sistem alga - bakteri dalam HRAR untuk penurunan COD dan nutrisi ditampilkan dalam Tabel 4.27. Pada konsentrasi COD awal 232 mg/L, peningkatan pH dan salinitas menghasilkan penyisihan COD lebih baik. Penyisihan nitrogen ammonium dengan konsentrasi awal 14,6 mg/L, untuk salinitas 0,8 ppt, menunjukkan tren kenaikan kinerja pada pH 6 dan 9. Sedangkan pada salinitas 1,5 ppt, kemampuan penyisihan nitrogen ammonium cukup tinggi pada level pH. Hasil penelitian menunjukkan penurunan konsentrasi nitrogen ammonium diikuti dengan peningkatan konsentrasi alga, pada semua perlakuan pH dan salinitas. Hal ini memperkuat dugaan bahwa nitrogen ammonium berperan penting pada produktivitas alga. Pada pH 6 dan 9, dan konsentrasi awal fosfat 20,86 mg/L didapatkan penurunan konsentrasi lebih baik pada semua perlakuan salinitas. Penurunan konsentrasi fosfat tertinggi terjadi pada pH 6, pada salinitas 1,5 ppt mencapai 57,2 %. Penurunan nutrisi yang lebih baik pada pH 6 sampai 9, dikarenakan pada kondisi ini CO₂ berada dalam bentuk senyawa karbonat (Gambar 2.5). Kalff (2002) menyatakan alga tumbuh dengan cepat bila sumber karbon berada dalam bentuk senyawa karbonat. Pertumbuhan alga yang baik berdampak pada peningkatan pengambilan nutrisi dalam air.

Tabel 4.27: Pengaruh salinitas pada kemampuan penyisihan COD dan nutrisi sistem alga - bakteri.

Salinitas	pH	COD	Ammonium	Fosfat
0,8 ppt	4,5	60,00%	72,20%	20,00%
	6	41,40%	92,40%	40,72%
	9	62,80%	95,40%	39,2%
1,5 ppt	4,5	58,60%	86,50%	17,20%
	6	55,20%	90,40%	57,20%
	9	66,90%	90,00%	40,30%

4.2.1.4 Analisis Kemampuan HRAR pada Penyerapan Karbon Dioksida (CO₂)

Dalam simbiosis alga - bakteri dalam sistem HRAP, alga berperan penting pada penyerapan CO₂, mencegah lepasnya CO₂ dari badan air ke atmosfer. Pencegahan emisi CO₂ ke atmosfer merupakan bagian dari aktivitas mitigasi pemanasan Global. Berdasarkan reaksi fotosintesis Persamaan 2.6, jumlah CO₂ yang diserap alga dapat dihitung berdasarkan perbandingan stoikiometri. Perbandingan stoikiometri menunjukkan bahwa setiap 1 gram sel alga terbentuk, sebanding dengan 1,92 gram CO₂ diserap. Sehingga dapat dipahami bahwa laju pertumbuhan spesifik dan produksi alga berperan dalam penyerapan CO₂. Faktor lingkungan dan kecukupan nutrisi memiliki peran penting pada pertumbuhan alga dan bakteri. Berdasarkan reaksi stoikiometri setiap penurunan 1 mg BOD akan dihasilkan CO₂ sebesar 1,375 mg. Dengan demikian, pada sistem alga-bakteri semua produksi CO₂ hasil proses biodegradasi akan dapat dikonversi menjadi sel - sel alga.

4.2.1.5. Kesimpulan penelitian HRAR proses *batch*

Beberapa kesimpulan penelitian sistem alga- bakteri dalam HRAR skala laboratorium dengan proses *batch*, dalam rangka mendukung upaya pemulihan Boezem Morokrempang sebagai HRAP, antara lain :

- a. Sistem alga - bakteri dapat dipergunakan untuk pengolahan air limbah domestik influen Boezem Morokrempang sisi Selatan,
- b. Kedalaman air berpengaruh pada kinerja dalam sistem HRAR dimana kedalaman air sampai 40 cm masih memiliki kinerja yang baik,
- c. Perpanjangan waktu pencahayaan selama 24 jam tidak memberikan peningkatan kinerja HRAR dan diperkirakan alga mengalami depresi sehingga pertumbuhan dan perkembangan biakan terhambat. Kemampuan penurunan COD dengan pencahayaan alami (12 jam) secara rerata sebesar 59,8 %; penurunan fosfat terbaik terjadi pada kedalaman 25 cm dengan

capaian rerata sebesar 46,07 %; Nitrogen ammonia 49 % dan Nitrat 59,8 % .

d. Perpanjangan waktu aerasi memberikan efek positif pada kinerja HRAR dimana penurunan COD secara rerata mencapai 63,4%; Nitrogen ammonia sebesar 71,3 %; Nitrogen nitrat sebesar 64,7 % , fosfat 80,90 % dan peningkatan konsentrasi MLSS sebesar 101,70 %. Namun peningkatan ini relatif tidak jauh berbeda bila dibandingkan dengan aerasi selama 12 jam. Namun demikian, penambahan aerasi pada malam hari dalam sistem alga-bakteri layak dipertimbangkan untuk menghindari terjadinya defisit oksigen.

e. Laju pertumbuhan alga pada penelitian ini lebih dipengaruhi konsentrasi bahan organik dan pH. Konsentrasi COD lebih tinggi diawal proses menghasilkan pertumbuhan alga dan bakteri lebih baik. Perbedaan salinitas tidak berpengaruh pada laju pertumbuhan biomassa, namun peningkatan pH dan salinitas terlihat meningkatkan pertumbuhan alga.

f. Perubahan salinitas tidak berpengaruh signifikan pada kinerja alga-bakteri dalam menurunkan COD dan nitrogen ammonia di semua level pH. Penurunan COD dan nitrogen ammonium terbaik terjadi pada pH 9,0 sedangkan fosfat lebih baik pada pH 6. Penurunan COD tertinggi sebesar 66,9 % dan nitrogen ammonium 95,4 % pada salinitas 0,8 ppt.

g. Pertumbuhan alga dan bakteri pada salinitas 1,5 ppt lebih baik dibanding pada pH 0,8 ppt. Pada salinitas 1,5 ppt sistem alga – bakteri menunjukkan nilai koefisien biokinetik lebih tinggi untuk semua level pH.

4.2.2. Kinerja Sistem HRAR Aliran Kontinyu untuk Pengolahan Air Limbah dari Boezem Morokrembangan.

Penelitian ini sebagai tindak lanjut dari penelitian sistem HRAR proses *batch*. Kesimpulan penelitian terdahulu menyatakan penambahan

pencapaian dan waktu aerasi tidak memberikan efek signifikan pada kinerja HRAR. Oleh karenanya, penelitian dengan aliran secara kontinyu dilakukan dengan pencapaian secara alamiah dengan menggunakan air Boezem dalam 3 unit HRAR. Unit HRAR dioperasikan dengan waktu detensi masing – masing 2; 4 dan 6 hari, sesuai yang dilakukan pada percobaan proses *batch*. HRAR dibuat seperti *oxydation ditch*, aliran air digerakkan menggunakan Pompa *Submersible* sebagai pengaduk hidrolis. Kedalaman air dalam HRAR diatur setinggi 75 cm mengikuti kedalaman air rerata pada Boezem. Penelitian lapangan menginformasikan bahwa karakteristik air limbah domestik yang masuk ke Boezem relatif berfluktuasi. Kinerja HRAR dilakukan dengan pengukuran parameter uji pada air umpan dan efluen HRAR. Pengambilan contoh dilakukan kontinyu setiap hari. Ilustrasi pelaksanaan penelitian ditampilkan pada Gambar 4.26. HRAR dioperasikan dengan pencapaian alami dan dilengkapi pelindung air hujan.

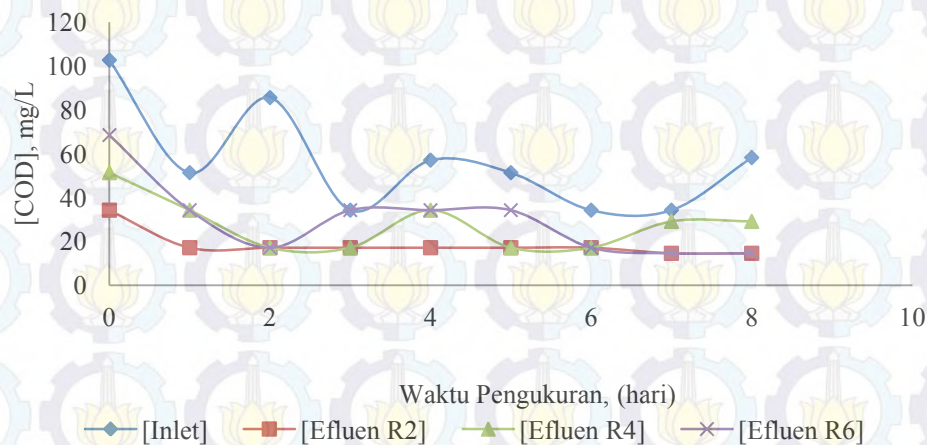


Gambar 4.26 Unit eksperimen penelitian dengan aliran kontinyu.

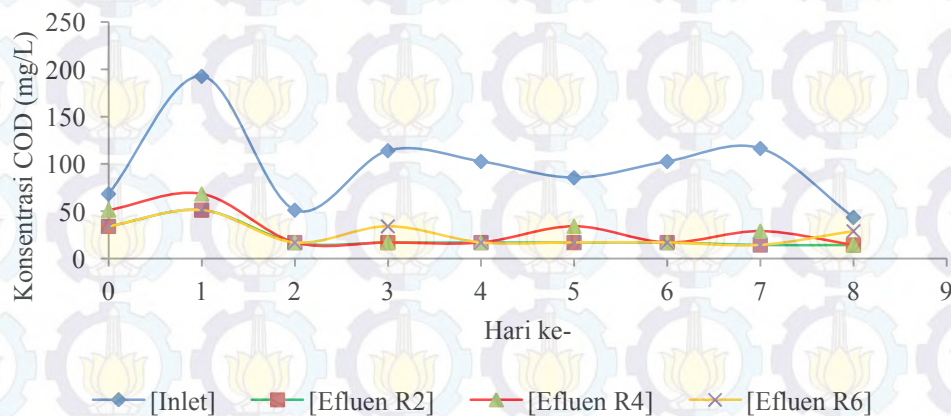
4.2.2.1. Kinerja Sistem Alga - Bakteri untuk Penurunan COD

Kinerja sistem alga – bakteri ditentukan dengan pengukuran konsentrasi COD diukur pada influen dan efluen pada setiap reaktor 2 kali sehari. Pengukuran dilakukan pagi dan sore hari sampai HRAR diperkirakan sudah berada dalam kondisi *steady*. Pengukuran sore dan pagi hari untuk mengetahui perubahan konsentrasi akibat proses fotosintesa dan proses respirasi alga di malam hari.

Hasil pengukuran konsentrasi COD dan MLSS disajikan pada Lampiran III Tabel L-80 sampai dengan Tabel L-82. Gambar 4.27 menjelaskan analisis kinerja HRAR untuk penurunan konsentrasi COD pada pagi dan sore hari. Konsentrasi COD pada inlet HRAR berfluktuasi setiap hari, sesuai dengan kualitas contoh air yang diambil dari Boezem Morokrembangan.



(a)



(b)

Gambar 4.27 Profil [COD] pada HRAR aliran kontinyu (a) sore dan (b) pagi hari

Perubahan konsentrasi ini berpengaruh pada konsentrasi COD efluen HRAR. Gambar 4.27 menunjukkan konsentrasi COD pada efluen di pagi hari

lebih baik dibandingkan sore hari. Pertambahan waktu tinggal dalam HRAR tidak begitu berpengaruh pada kemampuan penyisihan COD. HRAR dengan waktu tinggal 2 hari (R_2) menunjukkan kualitas efluen yang lebih stabil dibandingkan dengan yang lain. Hasil perhitungan efisiensi penurunan konsentrasi ditunjukkan dalam Tabel 4.28. Pada semua HRAR nampak bahwa pada malam hari diperoleh penurunan COD lebih besar dibanding siang hari. Hal ini dapat dimungkinkan karena intensitas cahaya matahari pada siang hari berpengaruh pada kinerja bakteri aerob. Tabel 4.29 menunjukkan konsentrasi DO siang dan sore hari secara rerata di atas 6,5 mg/L, dan pada pagi masih di atas 1,5 mg/L. Konsentrasi DO di pagi hari diukur antara jam 06.00 - 07.00 menunjukkan bahwa sistim alga - bakteri belum mengalami defisit oksigen.

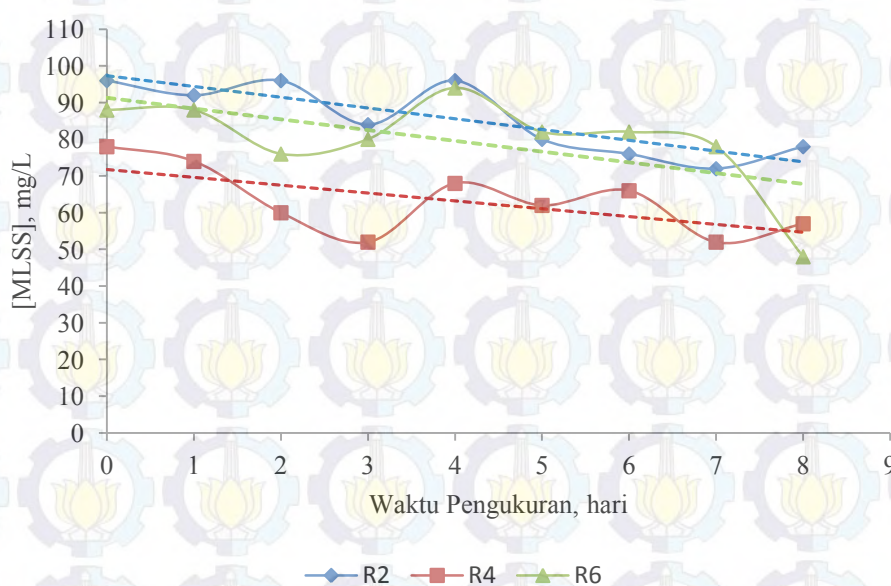
Tabel 4.28 : Penyisihan COD pada HRAR Aliran Kontinyu

T_d HRAR (hari)	Penyisihan COD (%)		
	Sore	Malam	Rerata
2	67,38	78,59	72,98
4	53,75	73,45	63,60
6	45,00	76,20	60,60

Besarnya penurunan COD pada malam hari diperkirakan bukan hanya dilakukan oleh bakteri aerob tetapi juga oleh aktivitas bakteri fakultatif heterotrof. Secara keseluruhan HRAR dengan $t_d = 2$ hari memiliki efisiensi penurunan lebih baik pada pengukuran di sore dan pagi hari. Evaluasi kinerja HRAR pada penyisihan COD menunjukkan bahwa lama waktu kontak tidak berpengaruh secara signifikan. Secara teoritis, semakin lama waktu kontak seharusnya akan diperoleh prosentase penurunan COD semakin baik. Perbedaan kinerja ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain konsentrasi MLSS dan rasio rerata alga bakteri. Analisis profil perubahan konsentrasi MLSS pada efluen HRAR ditampilkan pada Gambar 4.28. Pada awal pengoperasian konsentrasi MLSS berbeda antar unit HRAR, sekalipun telah diupayakan keseragamannya.

Tabel 4.29: Rerata Konsentrasi DO pada HRAR Aliran Kontinyu

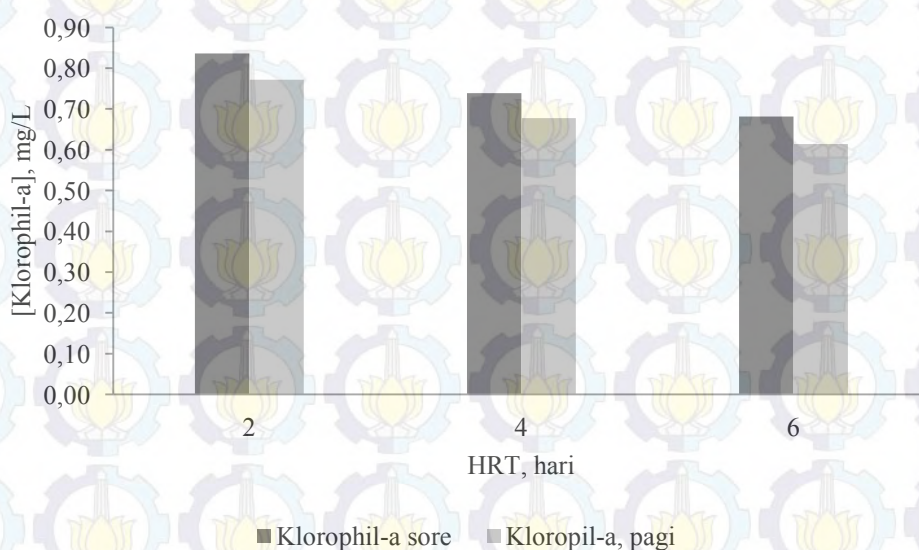
Td HRAR (hari)	[DO], mg O ₂ /L		
	Pagi	Siang	Sore
2	1,76	6,46	6,66
4	1,56	6,43	7,24
6	1,71	7,26	7,61



Gambar 4.28. Perubahan MLSS pada operasi HRAR aliran kontinyu

Konsentrasi MLSS pada efluen memiliki *trendline* yang cenderung menurun sampai pengukuran di hari ke 8. Penurunan konsentrasi MLSS dikarenakan sistem HRAR dioperasikan tanpa resirkulasi dan ada perbedaan konsentrasi COD pada influennya. Konsentrasi MLSS khususnya konsentrasi bakteri diyakini memiliki peran yang besar dalam penurunan COD. Pada R₂, konsentrasi MLSS lebih besar bila dibandingkan dengan R₄ dan R₆, dan menghasilkan penurunan COD yang lebih baik. HRAR dengan td 4 hari memiliki kinerja penurunan COD sedikit lebih baik dibanding HRAR dengan td 6 hari sekalipun kandungan konsentrasi MLSS lebih kecil. Penurunan konsentrasi MLSS secara gradual pada efluen HRAR diduga terjadinya mekanisme pengendapan biomassa dan terjadi kematian alga.

Pengukuran klorofil-a dilakukan untuk mengkaji perubahan konsentrasi alga setelah proses fotosintesa dan respirasi di malam hari. Gambar 4.29 menjelaskan rerata konsentrasi alga diukur sebagai klorofil-a pada sore dan pagi hari. Evaluasi rerata konsentrasi klorofil-a pada efluen HRAR menunjukkan adanya perbedaan konsentrasi alga antara pagi dan sore hari. Konsentrasi klorofil-a pada siang hari lebih besar dibandingkan hasil pengukuran pada pagi hari. Perbedaan ini menunjukkan bahwa pada siang hari proses fotosintesis telah mendorong pertumbuhan alga.



Gambar 4.29 Hasil Monitoring [Klorofil-a] Selama Pengoperasian HRAR

Pada malam hari alga memerlukan oksigen untuk proses “*maintenance*” sel dan tidak terjadi proses reproduksi dan dimungkinkan terjadi kematian sel. Rerata konsentrasi alga pada HRAR dengan HRT lebih tinggi bila dibandingkan HRT 4 dan 6 hari. Hal ini diperkirakan pada HRT lebih lama alga mengalami kematian dan terendapkan akibat adanya aliran yang lebih tenang. Oron *et al.*, (1979) menyatakan rasio alga/bakteri dalam HRAP sebaiknya minimum sebesar 0,004. Rasio alga/bakteri sebesar 0,004 akan memiliki konsentrasi bakteri cukup untuk menurunkan COD dan menghasilkan CO₂ serta nutrien yang cukup. Hasil penelitian menunjukkan rasio alga/bakteri pada semua HRT berada diatas 0,004. Rasio ini memenuhi persyaratan minimal yang disampaikan Oron *et al.*, 1979.

Hasil analisis pada sore hari diperoleh rasio alga/bakteri yang lebih besar. Hal ini dapat dipahami, pada siang hari terjadi proses fotosintesis dan alga dimungkinkan tumbuh lebih cepat dibandingkan bakteri. Rasio alga-bakteri hasil penelitian dijelaskan dalam Tabel 4.30. Rasio alga-bakteri pada pagi hari lebih rendah dibandingkan rasio hasil pengukuran di sore hari. Hal ini dikarenakan pada malam hari terjadi penurunan konsentrasi alga sebagaimana dijelaskan Gambar 4.29.

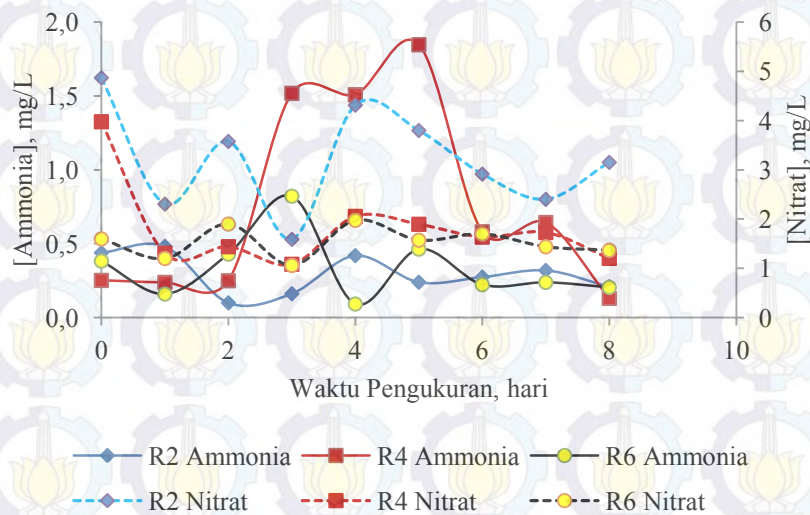
Tabel 4.30 : Rasio alga/ MLSS pada penelitian HRAR aliran kontinyu

	Waktu Kontak (hari)	[alga sebagai klorofil-a] (mg/L)	[MLSS] (mg/L)	Rasio (alga/MLSS)
Pagi	2	0,45	109,33	0,004
	4	1,04	42,67	0,024
	6	0,39	89,78	0,004
Sore	2	1,22	66,67	0,018
	4	0,79	28,00	0,028
	6	1,35	76,00	0,018

4.2.2.2. Penurunan N-NH₃ dan N-NO₃ dalam HRAR.

Nutrien dalam proses biologi memiliki peran penting dalam metabolisme dan sintesa sel. Dalam air limbah domestik, unsur N dapat berada dalam bentuk senyawa N-NH₃, N-NO₃, N-NO₂ maupun N-organik. Sedangkan unsur P lebih banyak berada dalam struktur P-organik maupun orthophosphat (PO₄⁻). Dalam sistem alga - bakteri, penurunan unsur Nitrogen dapat terjadi karena pengambilan oleh alga dan proses nitrifikasi – denitrifikasi. Gambar 4.30 menjelaskan hasil penelitian terkait profil konsentrasi N-NO₃ dan N-NH₃ selama penelitian. Saat siang hari sistem HRAR akan berada pada kondisi aerob, sehingga dimungkinkan terjadi proses nitrifikasi. Pada HRT 6 hari, disaat awal terjadi penurunan N-NH₃ dan N-NO₃ secara bersamaan. Namun, selanjutnya terjadi perubahan sebagaimana diperkirakan yaitu apabila konsentrasi ammonia turun, maka terjadi peningkatan

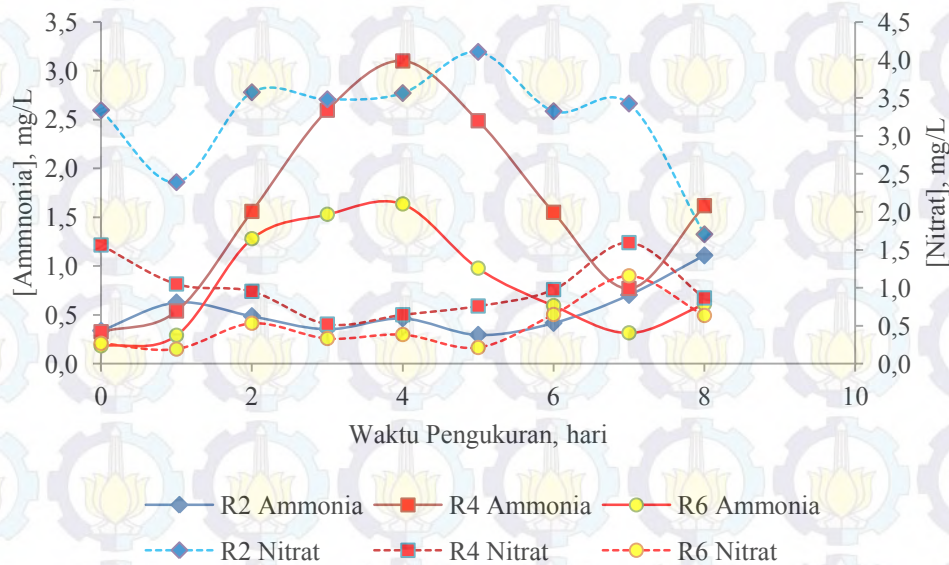
konsentrasi nitrat. Kenaikan konsentrasi nitrat diperkirakan bakteri nitrifikasi telah aktif bekerja. Kondisi seperti ini menyerupai hasil penelitian Fulazzaky (2009) bahwa pada proses HRAR ada korelasi antara penurunan ammonia dan peningkatan nitrat, yang menunjukkan adanya kehadiran bakteri nitrifikasi.



Gambar 4.30 Korelasi antara Konsentrasi Ammonia dan Nitrat Siang Hari

Perubahan konsentrasi N-NH_3 dan N-NO_3 pada malam hari disajikan dalam Gambar 4.31. Pada malam hari, proses nitrifikasi masih terjadi disaat alga dan bakteri secara bersamaan melakukan proses respirasi. Proses nitrifikasi pada malam hari lebih kecil dibandingkan yang terjadi di siang hari. Hal ini diperkirakan karena adanya keterbatasan konsentrasi DO dalam HRAR. HRAR dengan waktu kontak 4 hari mengalami peningkatan konsentrasi N-NH_3 dan N-NO_3 sampai hari ke 4 dan selanjutnya mengalami penurunan secara bersamaan. Kondisi ini, diperkirakan adanya pengaruh lisis oleh bakteri dan atau alga. Dimana, pada saat yang sama didapatkan penurunan konsentrasi MLSS yang diperkirakan mengalami kematian, sebagaimana ditunjukkan Gambar 4.28. Kematian biomassa dapat diikuti dengan proses ammonifikasi sekaligus terjadi terjadi proses nitrifikasi. Penurunan MLSS juga mempengaruhi konsentrasi nitrat yang ada dalam HRAR. Dalam sistem alga-bakteri pada siang hari dimungkinkan akan terjadi proses nitrifikasi, karena terdapat kelimpahan oksigen sebagai hasil

fotosintesis alga. Sebaliknya saat malam hari, diperkirakan konsentrasi nitrat akan menurun karena dikonsumsi alga dan diperkirakan terjadi proses denitrifikasi.



Gambar 4.31 Korelasi antara Konsentrasi Ammonia dan Nitrat Malam Hari

Tabel 4.31 menjelaskan perubahan konsentrasi nitrat saat siang dan malam hari hasil penelitian HRAR. Konsentrasi nitrat meningkat saat siang hari pada semua HRAR, dan terjadi penurunan saat malam hari. Penelitian menunjukkan kondisi anomali, saat siang hari, sistem HRAR dengan HRT lebih pendek memiliki peningkatan konsentrasi nitrat lebih besar. HRAR dengan HRT lebih lama peningkatan konsentrasi nitrat semakin rendah. Pada malam hari penurunan konsentrasi nitrat justru semakin meningkat seiring dengan kenaikan HRT dalam HRAR. Saat malam hari, diperkirakan terjadi mekanisme denitrifikasi dan terjadi pengambilan nitrat untuk memenuhi kebutuhan unsur N dan Oksigen.

Kinerja sistem alga-bakteri untuk penyisihan $N-NH_3$ disampaikan dalam Tabel 4.32. Hasil penelitian menunjukkan penurunan nitrogen ammonia terjadi pada semua waktu kontak dalam HRAR baik siang maupun malam hari.

Tabel 4.31 : Perubahan Konsentrasi Nitrat pada HRAR aliran kontinyu

Waktu Pengukuran	HRT HRAR (hari)	[N-NO ₃], mg/L		Kenaikan (%)
		Inlet, (mg/L)	Outlet (mg/L)	
Siang	2	0,49	3,11	538,8%
	4	0,33	1,15	243,7%
	6	0,33	0,55	64,6%
Penyisihan (%)				
Pagi	2	3,69	3,30	10,6%
	4	3,88	0,88	77,2%
	6	3,88	0,45	88,4%

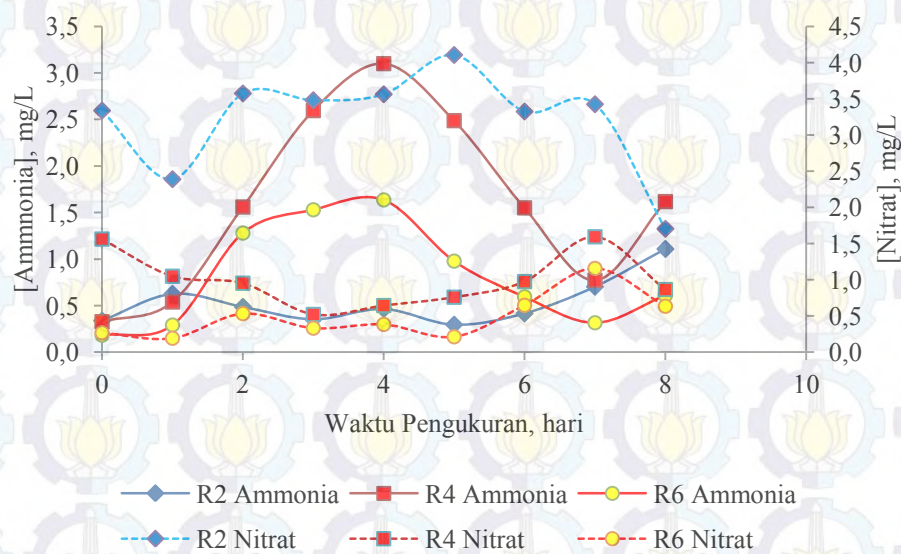
Tabel 4.32 : Penyisihan Konsentrasi N-NH₃ pada HRAR Aliran Kontinyu

Waktu Pengukuran	HRT HRAR (hari)	[N-NH ₃], mg/L		Penyisihan (%)
		inlet	outlet	
Siang	2	6,935	0,210	97,0%
	4	6,935	0,757	89,1%
	6	6,935	0,288	95,9%
Malam	2	7,427	0,532	92,8%
	4	7,427	1,617	78,2%
	6	7,427	0,824	88,9%

Penurunan nitrogen ammonia dimungkinkan terjadi karena pengambilan oleh bakteri heterotrof dan alga. Penelitian menunjukkan alga dan bakteri cenderung lebih menyukai unsur nitrogen dalam bentuk ammonia. Hal ini dikarenakan struktur nitrogen ammonia lebih mudah dikonversi menjadi senyawa-senyawa asam amino dari pada nitrogen nitrat. Dalam sistem HRAP alga mengubah nutrien menjadi biomass sehingga kandungan nutrien dalam air limbah berkurang (Park *et al.*, 2010). Secara teoritis, dalam sistem HRAP penurunan nitrogen akan diikuti dengan peningkatan konsentrasi alga. Polprasert (1996) menyatakan kinerja HRAR untuk penurunan nitrogen mempersyaratkan konsentrasi alga dalam kolam sebaiknya berada dalam kisaran 200 mg/L.

4.2.2.3 Penurunan Phosphat dalam HRAR

Dalam sistem HRAR penyisihan phosphat tidak sebesar nitrogen, khususnya ammonia, karena rasio N:P untuk pertumbuhan alga sebesar 15:1 (Termini, 2011). Hasil penelitian ditampilkan dalam Gambar 4.32, kondisi anomali terjadi pada awal operasional HRAR sampai hari ke 3. Dimana peningkatan konsentrasi klorofil tidak diikuti oleh penurunan konsentrasi phosphat.



Gambar 4.32. Profil Konsentrasi Phosphat dan Klorofil a Saat Siang Hari

Setelah hari ke 3, terjadi penurunan konsentrasi phosphat yang diikuti dengan peningkatan konsentrasi klorofil-a. Pada HRT 6 hari didapatkan kondisi terjadinya penurunan konsentrasi phosphat dan klorofil-a. Penurunan secara bersamaan ini, belum diketahui secara pasti penyebabnya. Hasil monitoring hari ke 4, sistim HRAR menunjukkan kondisi sesuai dengan analisis teoritis, dimana terjadi penurunan phosphat dan kenaikan klorofil-a. Peningkatan konsentrasi phosphat dapat terjadi dalam sistem HRAR, dimana pelepasan senyawa orthophosphat akibat konversi energi dalam bentuk ATP menjadi ADP. Hal ini terjadi bila alga tidak mendapatkan energi cahaya dengan intensitas yang cukup. Pelepasan orthophosphat dapat pula berasal dari peluruhan dari sel-sel mikroba

yang mengalami kematian. Kinerja HRAR dalam menurunkan fosfat dijelaskan dalam Tabel 4.33. Hasil pengukuran pada pagi dan sore, menunjukkan rerata konsentrasi fosfat pada efluen lebih besar dari pada influen. Kematian mikroorganisme diperkirakan memiliki andil cukup besar, yang ditandai dengan adanya penurunan MLSS sebagaimana dijelaskan dalam Gambar 4.28. Hal ini memperkuat dugaan telah terjadi *lysis* pada bakteri yang mati yang terakumulasi didalam sistem HRAR. Lysis bakteri dapat meningkatkan konsentrasi fosfat pada effluen HRAR. Kematian bakteri dapat terjadi akibat pengaruh lingkungan, seperti pH, temperatur, intensitas cahaya, toksisitas maupun terbatasnya nutrisi dan sumber karbon.

Tabel 4.33: Hasil analisis konsentrasi fosfat (mg/L) pada operasional HRAR

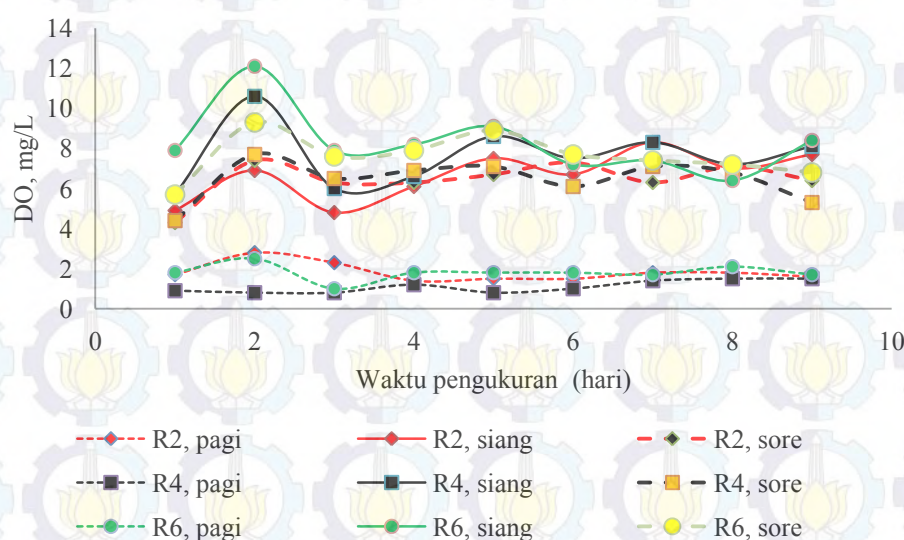
Waktu Pengukuran	Influen	Efluen		
		R2	R4	R6
Pagi	7,19 ± 2,18	12,07 ± 5,39	12,78 ± 5,99	16,38 ± 6,36
Sore	5,94 ± 2,49	12,69 ± 6,63	10,85 ± 6,04	11,72 ± 6,08

4.2.2.4. Ketersediaan Oksigen Terlarut dalam Sistem HRAR

Secara teoritis pada sistem HRAR, keberadaan klorofil-a dalam jumlah cukup mampu mensuplai kebutuhan oksigen bagi mikroorganisme di dalamnya. Analisis keterkaitan keberadaan klorofil-a dan DO pada penelitian ini ditujukan untuk verifikasi kebutuhan sistem aerasi dalam operasional HRAR. Konsentrasi rerata DO dan Klorofil-a selama 8 hari pengukuran dalam HRAR ditampilkan dalam Tabel 4.34. Hasil analisis menunjukkan pada pagi hari konsentrasi DO untuk semua waktu tinggal dalam HRAR masih berada di atas 1,0 mg/L. Konsentrasi DO pada pagi hari dipengaruhi oleh laju konsumsi oksigen dan reaerasi secara alamiah. Laju konsumsi oksigen dipengaruhi oleh konsentrasi BOD, N-NH₃, bakteri heterotrof dan klorofil-a. Konsentrasi DO di sore hari relatif cukup besar sekalipun konsentrasi klorofil-a rerata masih di bawah 1 mg/L. Profil DO secara rerata ditampilkan pada Gambar 4.33. Hasil penelitian menunjukkan perubahan konsentrasi DO cukup berfluktuasi di saat awal monitoring.

Tabel 4.34: Korelasi konsentrasi DO dan Klorofil-a dalam HRAR

Waktu Kontak HRAR, Hari	[DO], mg/L		[Klorofil-a], mg/L	
	Pagi	Sore	Pagi	Sore
2	$1,76 \pm 0,51$	$6,66 \pm 1,20$	$0,77 \pm 0,33$	$0,84 \pm 0,47$
4	$1,16 \pm 0,31$	$7,25 \pm 1,08$	$0,68 \pm 0,30$	$0,74 \pm 0,43$
6	$1,71 \pm 0,48$	$7,63 \pm 0,68$	$0,61 \pm 0,35$	$0,68 \pm 0,48$



Gambar 4.33. Profil Konsentrasi DO pada HRAR Aliran Kontinyu

DO di siang dan sore hari setelah hari ke 2 cukup besar. Selanjutnya nilai DO relatif stabil berada pada kisaran 6 – 8 mg/L untuk semua HRAR. Konsentrasi DO pada pagi hari relatif stabil dan masih mencukupi untuk kebutuhan minimum sistim alga-bakteri. Perbedaan laju konsumsi oksigen di malam hari lebih disebabkan karena dinamika perubahan konsentrasi MLSS, dan alga di dalamnya. Pada sistem HRAR konsentrasi DO siang dan malam hari dipengaruhi oleh laju konsumsi oksigen, laju reaerasi dan faktor lingkungan. Konsentrasi oksigen terlarut di siang hari sangat bergantung pada rasio alga/bakteri, intensitas dan lama waktu pencahayaan, kecukupan sumber karbon dan nutrisi. Sedangkan

konsentrasi DO pada malam hari sangat bergantung pada jumlah mikroorganisme dan kemampuan reareasi (Sigee, 2005).

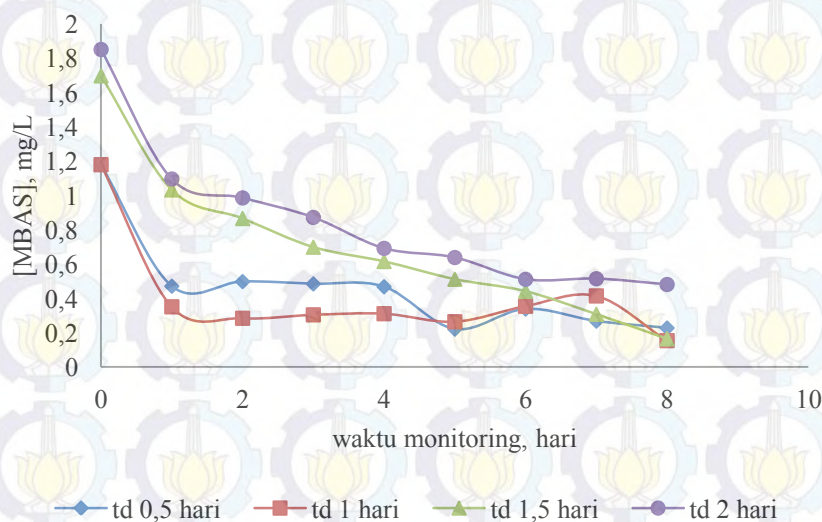
4.2.3. Efek Penambahan Bakteri pada Sistem HRAR Aliran Kontinyu untuk Penurunan Detergen pada Air Limbah Domestik Perkotaan

Penelitian ditujukan untuk mengkaji kemampuan sistem alga - bakteri dalam menurunkan konsentrasi detergen dalam air limbah domestik di Boezem. Sistem HRAR dioperasikan dengan pencahayaan secara alamiah dan pengadukan atau *mixing* menggunakan pompa *submersible* dan ditambah biakan bakteri. Biakan bakteri yang ditambahkan sebanyak 200 mL dan 400 mL. Unit HRAR sebanyak 4 buah dioperasikan secara kontinyu dengan air limbah muara dari Kali Greges di titik influen Boezem. HRAR dioperasikan dengan waktu tinggal masing – masing 0,5; 1; 1,5 dan 2 hari. Analisis data penelitian diambil bila HRAR telah mencapai kondisi tunak (*steady state*). Monitoring efluen dilakukan selama 8 hari berturut-turut yang diperkirakan efluen sudah relatif stabil (Polprasert, 2007). Penambahan bakteri pada sistem alga -bakteri dengan jumlah yang berbeda ternyata menghasilkan rasio alga-bakteri yang relatif sama sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 4.35. Data hasil penelitian disampaikan dalam Lampiran Tabel L-83; L-84; L-85 dan L-86.

Tabel 4.35: Rasio Alga/Bakteri pada HRAR dengan Penambahan Kultur Bakteri

HRT HRAR (hari)	Penambahan kultur bakteri			
	200 mL		400 mL	
	Hari ke 1	Hari ke 8	Hari ke 1	Hari ke 8
0,50	0,0009	0,002	0,0003	0,003
1,00	0,0009	0,002	0,0004	0,004
1,50	0,0007	0,004	0,0004	0,003
2,00	0,0008	0,005	0,0004	0,003

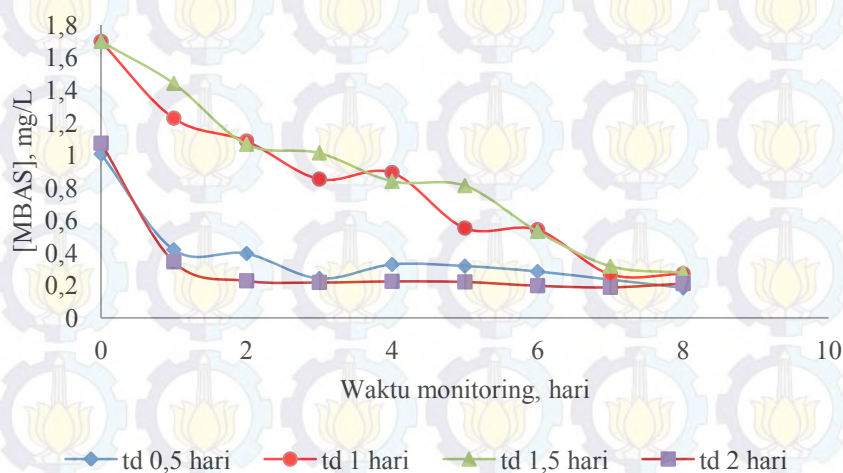
Penambahan kultur bakteri menghasilkan rasio alga-bakteri sangat rendah saat awal operasi HRAR. Penambahan kultur bakteri sebanyak 200 mL menghasilkan rasio awal lebih besar dibandingkan dengan penambahan 400 mL. Perbedaan ini, dimungkinkan karena saat awal didapatkan konsentrasi alga yang berbeda. Pada hari ke 8 didapatkan kenaikan rasio yang cukup besar pada semua HRT, namun kenaikan rasio tidak sama antar HRAR. Perbedaan ini dimungkinkan adanya perbedaan pertumbuhan alga dan bakteri pada masing – masing HRAR. Perubahan konsentrasi detergen selama penelitian disampaikan pada Gambar 4.34 dan Gambar 4.35



Gambar 4.34 Hasil Monitoring Perubahan Konsentrasi Detergen pada Efluen HRAR dengan Penambahan Kultur Bakteri 200 mL.

HRAR dengan penambahan kultur bakteri 200 mL, konsentrasi detergen turun cukup tajam pada sampai hari ke 2 untuk semua HRT. Konsentrasi detergen pada efluen relatif sampai hari ke 8. HRAR dengan penambahan kultur sebanyak 400 mL, menghasilkan pola penurunan detergen yang relatif sama, sekalipun dengan konsentrasi awal yang berbeda. HRAR dengan HRT 1 dan 1,5 hari menunjukkan penurunan detergen lebih lambat, yang diperkirakan karena konsentrasi awal yang lebih besar. Pada HRAR dengan td 0,5 dan 2 hari memiliki konsentrasi influen hampir sama sebesar 1,0 mg/L sedang untuk td 1 dan 1,5 hari sebesar

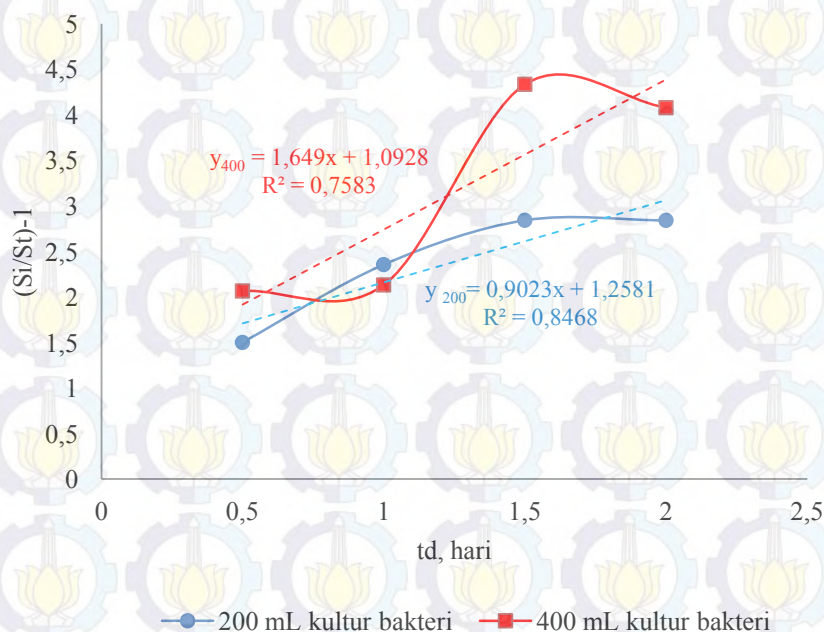
1,698 mg/L. HRAR dengan konsentrasi influen lebih rendah didapatkan penurunan lebih besar pada hari ke 1. Pada kasus ini, seolah td tidak berpengaruh pada penurunan detergen. Kondisi tunak segera terjadi pada HRAR dengan td 0,5 dan 2 hari. Sedangkan pada td 1 dan 1,5 hari dengan konsentrasi detergen influen yang lebih tinggi didapatkan penurunan lebih rendah. Namun pada monitoring di hari ke delapan, konsentrasi efluen semua HRAR sudah *steady* dengan nilai yang hampir sama.



Gambar 4.35 Hasil Monitoring Konsentrasi Detergen pada Efluen HRAR dengan Penambahan Kultur Bakteri 400 mL.

Efek penambahan bakteri pada laju penurunan detergen dan COD ditentukan dengan mengkaji besarnya koefisien bioreaksi (K) dengan melakukan linearisasi Persamaan 2.20. Hasil perhitungan disampaikan dalam Lampiran Tabel L - 87 dan L - 88. Penentuan nilai K ditentukan dengan metode grafik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.36. Hasil penelitian terlihat bahwa penambahan kultur bakteri berpengaruh pada nilai K . Penambahan kultur bakteri sebesar 200 mg/L diperoleh nilai $K = 0,903/\text{hari}$, dan $1,649/\text{hari}$ untuk penambahan 400 mg/L. Analisis regresi linier menunjukkan nilai $R^2 > 0,7$ untuk kedua kurva, bermakna terdapat hubungan erat antara penambahan bakteri dan laju penurunan detergen

dan COD. Pengaruh penambahan bakteri pada laju penurunan COD ditentukan dengan prosedur yang sama dan dijelaskan pada

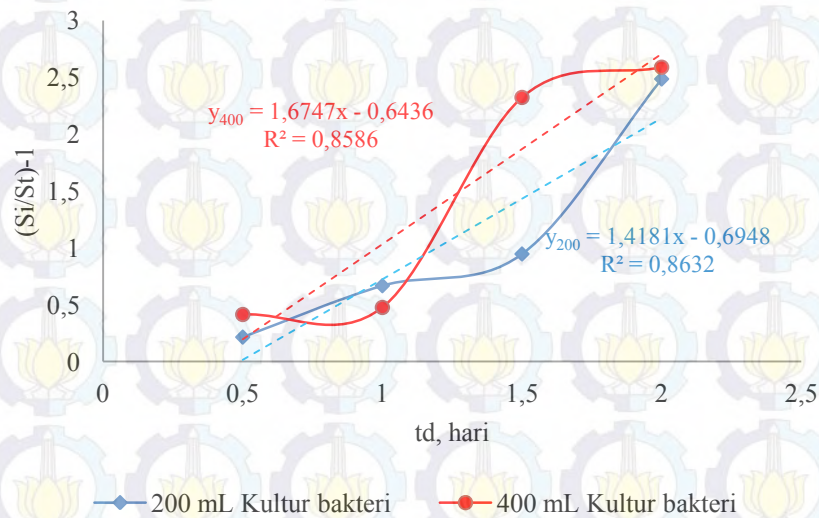


Gambar 4.36 Efek Penambahan Bakteri dalam Sistem Alga - Bakteri pada Laju Penurunan Detergen.

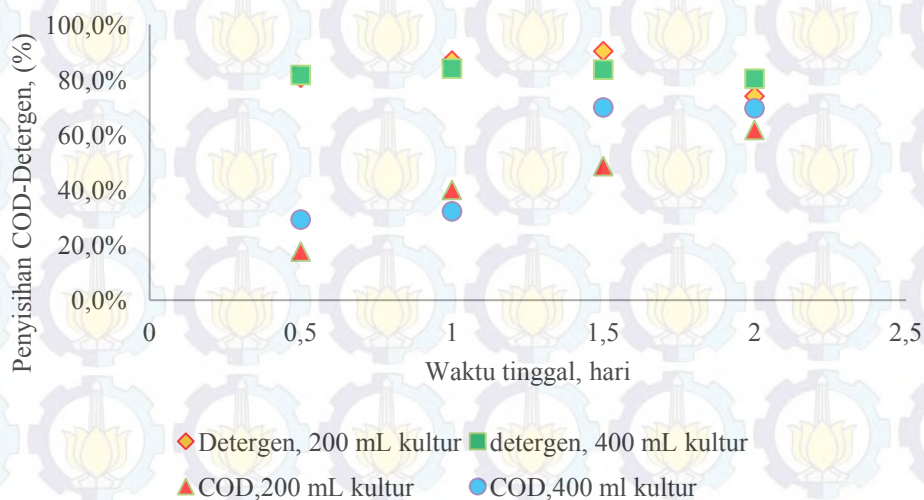
Penambahan kultur bakteri berpengaruh pada nilai Laju penurunan COD. Nilai K untuk penurunan COD memiliki pola yang sama pada detergen. Pada penambahan 400 mL kultur bakteri didapatkan nilai K sebesar 1,6750/hari, dan 1,4181/hari pada 200 mL. Hasil penelitian memperkuat dugaan bahwa dalam sistem alga - bakteri, konsentrasi bakteri berperan penting pada penurunan senyawa organik. Pengaruh penambahan kultur bakteri pada kinerja sistem alga - bakteri untuk penurunan COD ditampilkan pada grafik Gambar 4.37. Hasil penelitian memperkuat dugaan bahwa dalam sistem alga - bakteri, konsentrasi bakteri berperan penting pada penurunan senyawa organik.

Perhitungan Rasio dan kemampuan penyisihan detergen dan COD di sampaikan dalam Lampiran Tabel L – 89. Sedangkan tampilan secara grafis dijelaskan dalam Gambar 4.38. Sistem alga - bakteri mampu menurunkan

kandungan detergen dalam air limbah dengan penyisihan tertinggi sebesar 90,3 %. Waktu tinggal dalam HRAR tidak berpengaruh secara signifikan pada % penyisihan konsentrasi detergen. HRAR dengan penambahan kultur bakteri 400 mL memiliki kemampuan penyisihan yang relatif sama semua HRT. Sedang pada penambahan kultur 200 mL pada HRT 0,5; 1 dan 1,5 menghasilkan penyisihan cukup besar, menurun HRT 2 hari.

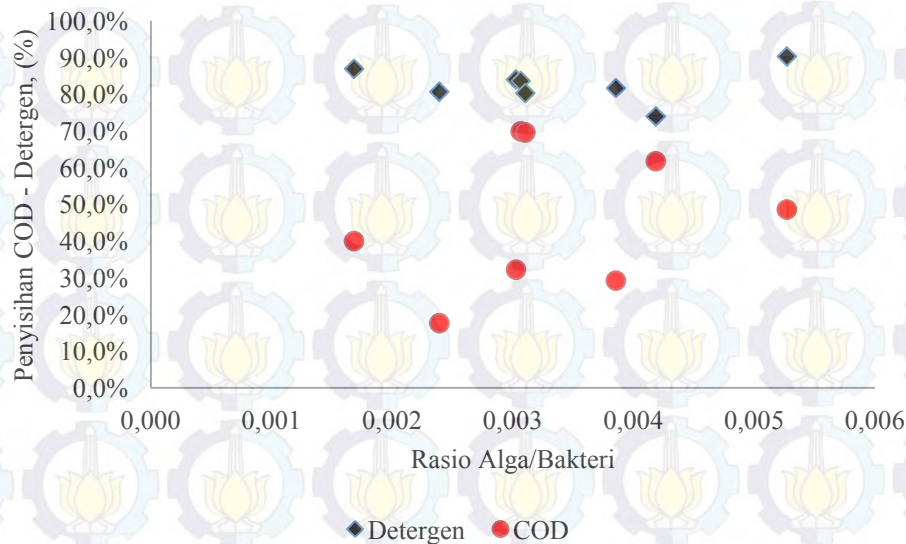


Gambar 4.37 Efek Penambahan Bakteri dalam Sistem Alga - Bakteri pada Laju Penurunan COD



Gambar 4.38 Efek Penambahan Bakteri pada Kinerja Sistem Alga - Bakteri .

Kinerja HRAR dengan penambahan kultur bakteri menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan HRT pada penyisihan COD. Kemampuan penyisihan COD cenderung meningkat selaras dengan penambahan HRT. Penambahan kultur bakteri berpengaruh pada peningkatan penyisihan COD. Pada HRT 1,5 dan 2 hari penambahan kultur bakteri 400 mL menunjukkan peningkatan penyisihan COD, mampu mencapai 69,9 %. Efek penambahan kultur bakteri pada rasio alga/bakteri dan kemampuan penyisihan COD dijelaskan dalam Gambar 4.39.

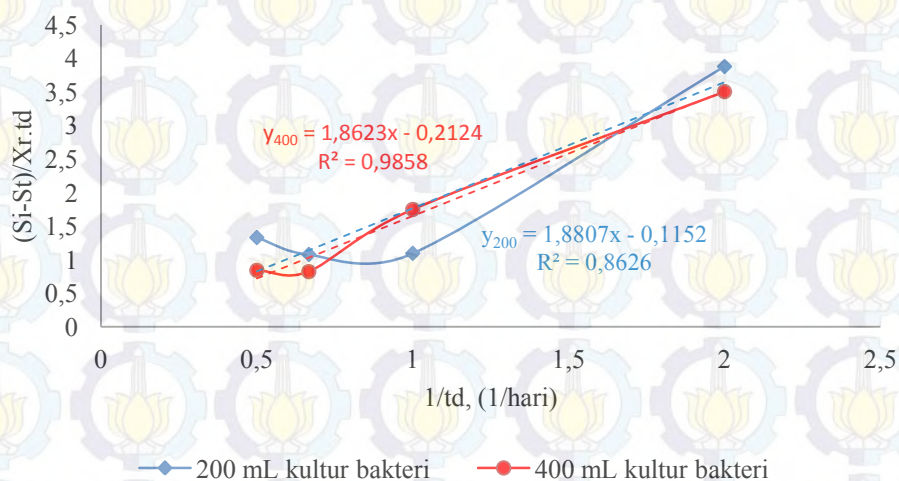


Gambar 4.39 Kemampuan Penurunan Detergen dan COD Pada Berbagai Rasio Alga/Bakteri

Rasio alga-bakteri relatif tidak berpengaruh signifikan pada penurunan detergen. Hasil penelitian pada rasio alga-bakteri menghasilkan penyisihan detergen sebesar (73,98-90,31)%. Sebaliknya, penurunan COD lebih baik pada rasio alga-bakteri dalam rentang 0,003-0,004, diperoleh penyisihan COD mencapai 69,9%.

4.2.3.1. Efek Penambahan Bakteri pada Koefisien Biokinetik Sistem Alga - Bakteri

Koefisien biokinetik Y dan k_d ditentukan menggunakan Persamaan linier 2.23. Data perhitungan di sampaikan dalam Lampiran Tabel L-90, analisis secara grafis ditampilkan dalam Gambar 4.40. Penambahan kultur bakteri tidak menunjukkan perbedaan pada nilai koefisien biokinetik. Nilai Y dan k_d pada penambahan kultur bakteri 200 mL berturut –turut sebesar 0,532 kg VSS/kg COD_R dan 0,061/hari. Sedangkan penambahan kultur bakteri 400 mL nilai $Y = 0,537$ kg VSS/kg COD_R dan k_d sebesar 0,112/hari. Hal ini, sesuai dengan hasil perhitungan, bahwa penambahan bakteri tidak berpengaruh pada rasio alga/bakteri. Nilai Y yang diperoleh tidak jauh berbeda dari hasil peneliti terdahulu, berada pada kisaran 0,4 – 0,7 kg VSS/kg COD_R . Sebaliknya, laju kematian biomassa k_d pada penambahan kultur 400 mL relatif cukup tinggi.



Gambar 4.40 Analisis nilai Y dan k_d pada sistem alga - bakteri dengan penambahan kultur bakteri.

4.2.3.2 Kesimpulan Penelitian HRAR dengan Aliran Kontinyu dan Pencahayaan Secara Alamiah.

Kinerja sistem alga - bakteri pada HRAR aliran kontinyu dengan pencahayaan secara alamiah dan penambahan kultur bakteri dapat disimpulkan :

- a. Sistem alga - bakteri pada HRAR aliran kontinyu dapat dipergunakan untuk mengolah air limbah domestik dari Boezem Morokrembangan. Kinerja HRAR tanpa penambahan kultur bakteri, terjadi penurunan COD dan N-NH₃ terbaik pada td 2 hari; N-NO₃ pada td 6 hari. Pada penelitian ini, didapatkan konsentrasi phosphat pada efluen lebih besar dibandingkan influen HRAR, yang dimungkinkan adanya proses akumulasi dan mineralisasi biomassa.
- b. Penambahan kultur bakteri pada sistem alga - bakteri mampu meningkatkan penurunan COD; detergen dan laju penurunan (K) berbasis COD. Waktu proses (td) dan rasio alga - bakteri tidak berpengaruh secara signifikan pada penurunan detergen. Pada semua nilai td dan rasio alga - bakteri penyisihan detergen berada pada kisaran 70 – 90%. Sebaliknya pada peningkatan td penyisihan COD semakin baik. Rasio alga-bakteri berpengaruh pada penyisihan COD, pada rasio 0,003 - 0,004 menunjukkan penurunan lebih baik. Penambahan kultur bakteri tidak menghasilkan perbedaan nilai Y dan k_d. Penelitian HRAR dengan aliran kontinyu diperoleh nilai koefisien biokinetik lebih baik bila dibandingkan proses *batch*.
- c. Sistem alga – bakteri mampu menurunkan konsentrasi COD, detergen sebagai surfaktan, dan nitrogen dalam air limbah domestik influen Boezem. Sehingga dapat diterapkan untuk pemulihan kualitas air dalam Boezem.

4.3. Analisis Kelayakan Sistem Alga - Bakteri untuk Pemulihan Kualitas Air Limbah Di Boezem Morokrembangan.

Hasil penelitian lapangan dan skala laboratorium menyimpulkan sistem alga - bakteri mampu mengolah air limbah domestik influen Boezem. Berbagai variasi penelitian yang dilakukan, menyimpulkan pencahayaan secara alamiah dan waktu tinggal hidrolik berperan pada kinerja sistem alga - bakteri. Perencanaan pengelolaan Boezem perlu dilakukan agar sistem alga - bakteri dapat diterapkan memenuhi kaidah sistem HRAP. Hasil penelitian lapangan diperoleh debit minimum influen sebesar 3,97 m³/detik dan maksimum mencapai 42,15 m³/detik. Kedalaman air dalam Boezem bervariasi, pada bagian tepi diperkirakan secara

rerata sebesar 0,2 m. Pada bagian tengah secara rerata diperkirakan sebesar (0,6-0,75 m), dengan luas Boezem 37,6 Ha.

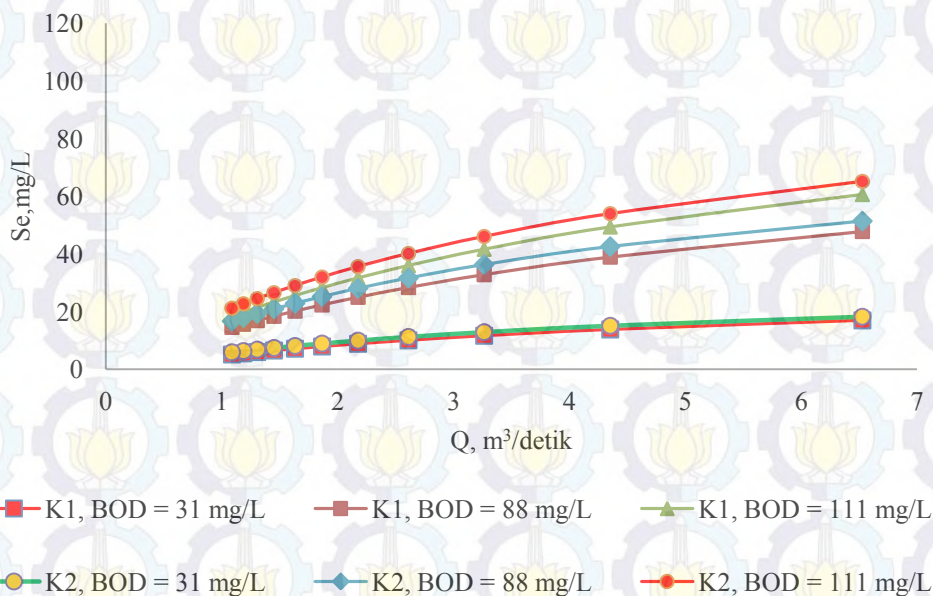
Kualitas air limbah influen Boezem sangat berfluktuasi antara musim kemarau dan musim hujan. Hasil penelitian menunjukkan kandungan senyawa organik pada influen Boezem relatif *biodegradable* dengan rasio BOD/COD sebesar $0,4973 \pm 0,0107$. Kandungan nutrisi air limbah pada influen Boezem cukup baik. Hasil penelitian menunjukkan ada kenaikan rasio $[N-NH_3/P-PO_4]$ tahun 2011 sebesar 2,9 dan pada tahun 2014 sebesar 10,67. Kandungan nutrisi ini sudah sangat cukup untuk persyaratan pertumbuhan alga dan bakteri. Kandungan deterjen sebagai surfaktan yang masuk ke dalam Boezem relatif cukup besar saat musim kemarau. Hasil penelitian 2013 dan 2014 masing – masing sebesar $(2,326 \pm 0,12)$ mg/L dan $(2,490 \pm 0,61)$. Konsentrasi BOD influen Boezem selama penelitian terendah sebesar $(31,0 \pm 4,00)$ mg/L dan tertinggi $(111,0 \pm 29,00)$ mg/L. Nilai suhu rerata air Boezem saat kemarau $(32,61 \pm 1,32)^\circ C$ dengan nilai suhu minimum $31,13^\circ C$ dan nilai suhu maksimum $34,53^\circ C$. Evaluasi pada kinerja Boezem menunjukkan bahwa di dalam Boezem telah terjadi proses penurunan padatan tersuspensi dan terlarut melalui proses sedimentasi dan biodegradasi. Hasil penelitian lapangan menunjukkan efluen Boezem belum memenuhi Baku Mutu Badan Air Permukaan kelas IV, dimana konsentrasi BOD maksimum 12 mg/L.

Hasil penelitian proses *batch* menunjukkan kedalaman air dalam HRAR sebaiknya kurang dari 40 Cm dengan pencahayaan secara alamiah. Penelitian dengan proses *batch* hanya mampu menurunkan konsentrasi BOD sebesar 59,2 %. Penurunan $N-NH_3 = 49,2 \%$; $P-PO_4 = 46,07 \%$ dan $N-NO_3 = 59,8 \%$, dengan waktu tinggal minimum 2 hari. Namun, pada HRAR sistem aliran kontinu dan pencahayaan alamiah dengan HRT 2 hari mampu menyisihkan COD sampai 69,9 %. Sebaliknya kinerja untuk penurunan nutrisi cukup baik. Penurunan total Nitrogen mencapai 89,4%, $N-NH_3$ dan $N-NO_3$ berturut - turut sebesar 95,1% dan 77,3%. Konsentrasi BOD influen Boezem tertinggi 111 mg/L, agar memenuhi Baku Mutu maka sistem alga - bakteri harus memiliki efisiensi di atas 90 %. Kajian aplikasi sistem alga - bakteri lebih difokuskan pada pencapaian penyisihan

konsentrasi BOD, karena konsentrasi nutrisi influen Boezem relatif rendah. Dimana, diperkirakan sistem alga – bakteri mampu menyerap nutrisi dengan baik dan dapat memenuhi Baku Mutu. Kajian pemulihan Boezem juga difokuskan dengan pendekatan proses biologi dengan aplikasi data penelitian formula empiris yang telah dikembangkan oleh peneliti terdahulu.

4.3.1. Aplikasi Sistem Alga - Bakteri untuk Pemulihan Boezem

Evaluasi hasil penelitian sistem alga - bakteri pada Boezem Morokrem-bangan sebagai HRAP digunakan pendekatan formulasi empiris yang telah dikembangkan sebagaimana persamaan 2.20. Data penelitian lapangan diperoleh konsentrasi BOD influen Boezem secara rerata pada 2010 = 31 mg/l; 2011 = 88 mg/L; 2013 = 111 mg/L. Hasil penelitian laboratorium dengan pengkayaan bakteri diperoleh nilai Koefisien *biodegradability*, $K_1 = 1,675 \text{ (mg.hari)}^{-1}$ dan $K_2 = 1,418 \text{ (mg.hari)}^{-1}$. Aplikasi data untuk pencapaian konsentrasi BOD efluen Boezem sesuai Baku Mutu yang ditetapkan ditampilkan pada Gambar 4.41. Hasil simulasi ini, menjelaskan bahwa nilai K dan waktu tinggal hidrolis (t_d) berpengaruh pada kinerja Boezem. Nilai K yang besar dan t_d yang lebih lama akan menghasilkan penyisihan BOD yang semakin baik. Nilai K merupakan fungsi rasio BOD/COD, dan laju konsumsi substrat oleh biomassa aktif dalam sistem alga - bakteri. Waktu tinggal hidrolis (HRT) Boezem dipengaruhi oleh fluktuasi debit, luas eksisting dan stabilitas kedalaman air. Luas Boezem saat ini sebesar 37,6 Ha, bila kedalaman air dijaga rerata 0,75 m, maka volume air yang dapat ditampung sebesar 282.000 m³. Debit influen Boezem hasil pengukuran di tahun 2010 dan 2011 saat tidak ada hujan berkisar antara (3,97 – 5,702) m³/detik. Bila kedalaman air dalam Boezem dijaga pada level 0,75 m, maka didapatkan HRT sebesar (0,572 - 0,822) hari. Gambar 4.40 menjelaskan hasil simulasi penentuan perkiraan BOD efluen Boezem menggunakan Persamaan 2.20 pada berbagai debit dan konsentrasi BOD influen. Hasil simulasi menunjukkan Boezem hanya mampu menerima BOD influen sebesar 31 mg/L dengan debit maksimum 3,4 m³/detik.



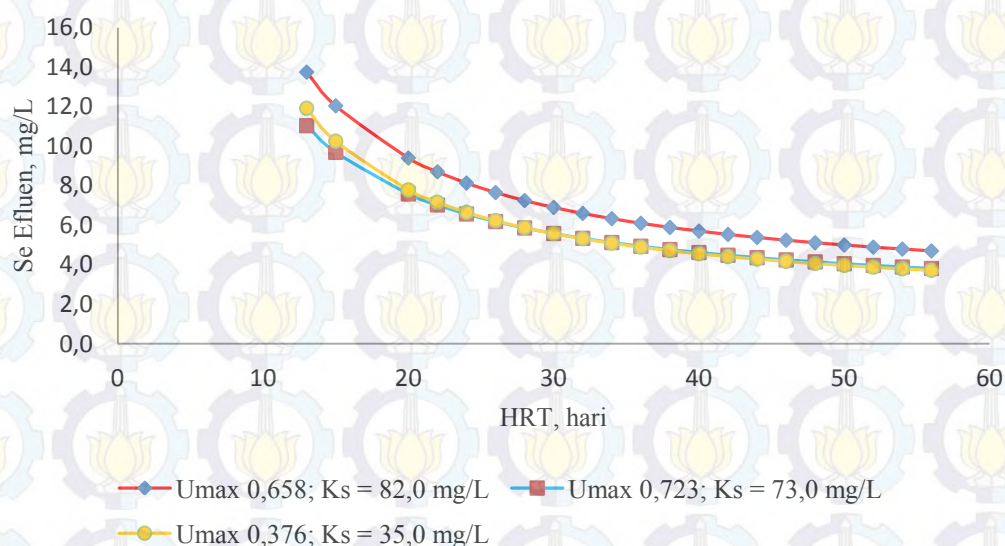
Gambar 4.41 Simulasi kinerja Boezem sebagai HRAP berdasar data penelitian lapangan dan Laboratorium.

Pendekatan teoritis bila area pelayanan Boezem saat ini sekitar $\pm 25\%$ wilayah kota Surabaya. Jumlah penduduk kota diperkirakan ± 3 juta jiwa, maka penduduk yang membuang air limbah sekitar 750.000 jiwa. Saat ini, konsumsi rerata air bersih penduduk kota Surabaya ± 125 lt/orang.hari, maka produksi air limbah rerata sebesar $0,868 \text{ m}^3/\text{detik}$. Pada kedalaman air $0,75 \text{ m}$, maka HRT air limbah dalam Boezem sebesar $3,75$ hari dan $1,504$ hari saat jam puncak. BOD influen maksimum yang bisa diterima Boezem tetap hanya sebesar 31 mg/L .

4.3.2. Evaluasi Pemulihan Boezem dengan Pendekatan Biokinetik

Simulasi kinerja Boezem dilakukan menggunakan nilai koefisien biokinetik hasil penelitian skala laboratorium pada Tabel 4.25 dan 4.26 pada Persamaan 2.12. Sistem HRAP analog dengan sistem bioreaktor aerobik non resikulasi, penyelesaian Persamaan 2.12. menjadi $S_e = \frac{K_s(1+k_d.HRT)}{HRT(\mu_{max}-k_d)-1}$. Hasil perhitungan evaluasi dijelaskan dalam Lampiran Tabel L-9 dan ditampilkan dalam Grafik pada Gambar 4.42. Gambar 4.42 menjelaskan simulasi kinerja

sistem alga – bakteri pada Boezem sebagai suatu sistem kolam alga menggunakan data biokinetik μ_{maks} dan K_s . Hasil evaluasi menunjukkan bahwa laju pertumbuhan biomassa dan K_s berperan pada kinerja sistem HRAP. Nilai μ_{maks} yang besar, K_s menentukan besarnya HRT untuk menurunkan konsentrasi BOD. μ_{maks} merupakan indikator ketangguhan biomassa untuk tumbuh, berkembang dan mengkonsumsi substrat organik. Simulasi dilakukan dengan target BOD efluen (S_e) kurang dari 12 mg/L. Pendekatan menggunakan koefisien laju pertumbuhan biomassa menunjukkan sistem alga-bakteri tidak mampu memulihkan kualitas air sesuai kondisi Boezem.

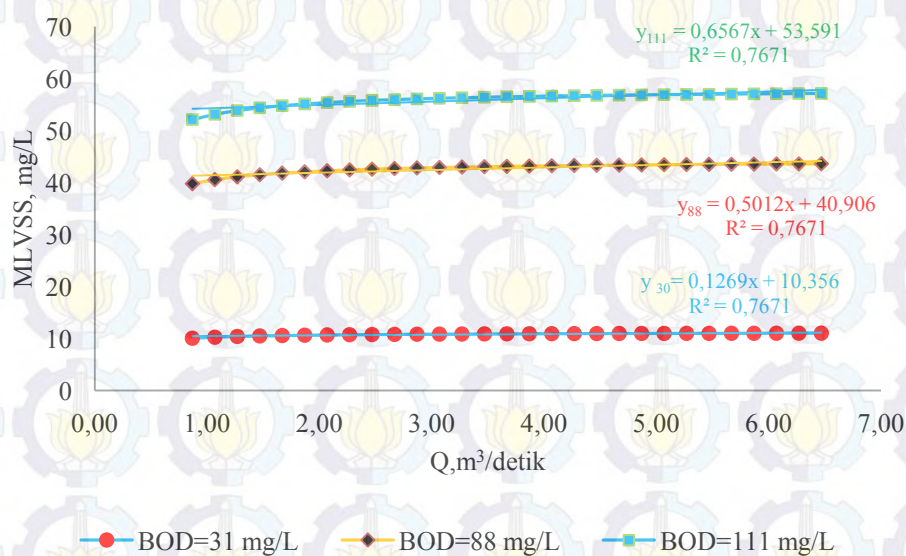


Gambar 4.42 : Simulasi Aplikasi Koefisien Biokinetik Sistem Alga – Bakteri pada Kemampuan Pemulihan Boezem.

Evaluasi dengan data biokinetik, untuk mencapai BOD efluen 12 mg/L diperlukan waktu proses minimal 15 hari. Sedangkan hasil penelitian menunjukkan HRT terlama dalam Boezem 3,75 hari bila kedalaman air dijaga pada level 0,75 m.

Evaluasi kinerja Boezem dengan pendekatan perhitungan debit air limbah dari area pelayanannya diperoleh hasil lebih baik. Evaluasi kinerja Boezem sebagai suatu kolam aerob non resirkulasi, dimana kinerja sistem ditentukan

kehadiran biomassa aktif, kecukupan nutrisi, dan oksigen. *Yield coefficient* (Y), merupakan koefisien indikator produksi biomassa aktif persatuan substrat yang dikonsumsi. Nilai Y yang tinggi bermakna laju biodegradasi substrat yang cepat. Karakteristik biomassa yang baik bila memiliki nilai Y tinggi dan k_d rendah. Hasil penelitian HRAR aliran kontinu diperoleh nilai $Y = 0,532$ (kgVSS/kgBOD_R) dan $k_d = 0,061$ /hari. Perhitungan simulasi menggunakan Persamaan 2.22 dijelaskan dalam Lampiran Tabel L-92 dan ditampilkan dalam grafik Gambar 4.43.



Gambar 4.43 : Simulasi kebutuhan biomassa aktif pada Boezem dengan model bioreaksi orde satu.

Hasil simulasi menjelaskan kebutuhan biomassa aktif relatif konstan pada berbagai kenaikan debit air influen Boezem. Keberadaan biomassa yang dibutuhkan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi BOD. Minimum kebutuhan biomassa untuk nilai BOD = 31; 88 dan 111 mg/L berturut-turut sebesar 11 mg/L; 44 mg/L dan 57 mg/L. Dalam konteks HRAP, yang dimaksud biomassa aktif adalah konsentrasi bakteri terukur sebagai VSS yang berfungsi mengonsumsi senyawa organik sebagai BOD. Rasio alga/bakteri sistem HRAP ideal adalah 0,004 (Oron *et al.*, 1979), sehingga kebutuhan alga minimal sebesar 0,23 mg klorofil-a/L. Hasil penelitian lapangan didapatkan konsentrasi klorofil-a rerata mencapai $(1,70 \pm 0,60)$ mg/L, sangat cukup memenuhi operasional sistem

alga – bakteri. Analisis hasil penelitian, menunjukkan bahwa kualitas air limbah dalam Boezem dapat dipulihkan menggunakan sistem alga - bakteri dengan beberapa perlakuan pengelolaan.

4.3.3. Strategi Pengelolaan untuk Pemulihan Boezem Morokrembangan sisi Selatan.

Hasil penelitian lapangan menunjukkan beban pencemar pada Boezem sangat tinggi dengan laju pendangkalan cepat. Strategi pemanfaatan sistem alga – bakteri untuk pemulihan Boezem meliputi pengendalian sedimentasi, menjaga kedalaman air, ketersediaan biomassa aktif dan kestabilan DO.

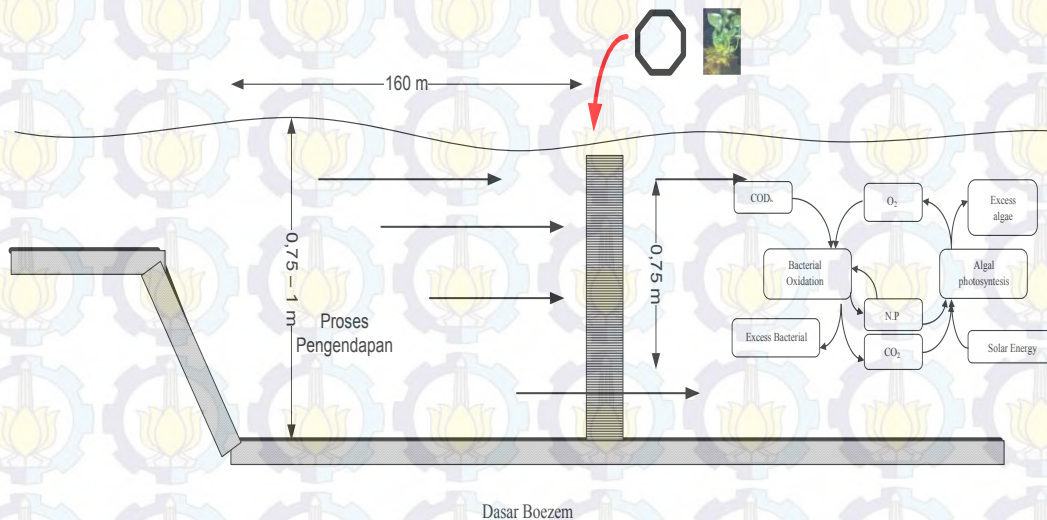
4.3.3.1 Pengendalian Laju Pendangkalan

Data penelitian lapangan sebagaimana Tabel 4.11, menunjukkan kandungan TS pada influen Boezem sangat tinggi diperkirakan sebagai penyebab percepatan laju pendangkalan. Pengendalian laju pendangkalan dapat dilakukan dari sumbernya melalui penyediaan sistem *pretreatment* pada area permukiman, dan pengelolaan saluran drainase dan sungai. Pengendalian secara insitu dapat dilakukan secara fisik maupun pemanfaatan tanaman gulma air seperti eceng gondok (*Eichhornia crassipes*).

A. Rekayasa Pengendalian Sedimen Secara Fisik

Pengendalian sedimentasi melalui rekayasa fisik dilakukan untuk mendorong terjadinya pengendapan dan melokalisasi posisi sedimen agar mudah dilakukan pengambilan secara periodik. Bentuk rekayasa fisik bisa berupa penyekatan atau peletakkan media biofiltrasi pada zona aman setelah inlet Boezem. Pemilihan dengan media biofiltrasi statis lebih disarankan karena memiliki keunggulan mereduksi kecepatan aliran dan media tumbuh mikroba. Mikroba akan tumbuh sebagai biofilm pada permukaan media dan dapat

berfungsi penyedia biomassa aktif bagi sistem alga-bakteri setelah “*desludging*”. Biofilm akan bertindak sebagai biomassa aktif dalam sistem alga – bakteri, tetap tumbuh dan berkembang dan mendegradasi BOD dan nutrisi. Pertumbuhan biomassa aktif di estimasi dapat menjaga rasio alga/bakteri sebagai sistem HRAP.



Gambar 4.44 : Rekayasa Teknik Pengendalian Sedimentasi Dalam Boezem

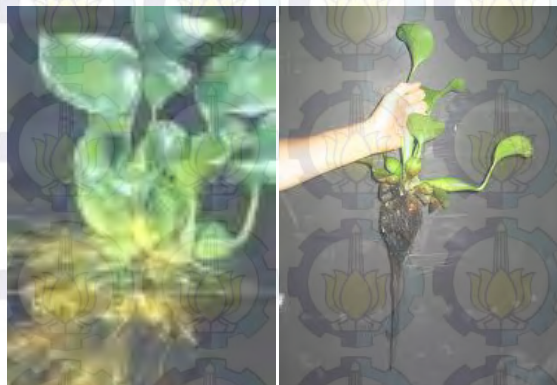
Zona sedimentasi dirancang selayaknya sistem pengendapan dengan rancangan sebagaimana dijelaskan dalam Gambar 4.44. Dimensi media biofiltrasi dirancang berupa media poros berbentuk poligon dengan diameter bukaan minimal 5 cm. Diameter minimal dimaksudkan agar tidak terjadi penyumbatan oleh pertumbuhan biofilm dan akumulasi sedimen. Model media biofiltrasi dirancang selayaknya model sarang tawon atau *tube settler* terpasang horizontal. Panjang media cukup 1 m agar tidak meningkatkan kehilangan energi aliran dalam Boezem.

B. Rekayasa Pengendalian Sedimen dengan Bantuan Tanaman Fitoremediasi

Salah satu jenis tanaman fitoremediasi adalah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), Gambar 4.45. Tanaman eceng gondok memiliki keunggulan sebagai

pengendali pencemaran telah banyak diteliti (Polprasert, 1996). Mekanisme reduksi bahan pencemar dalam air limbah melalui proses fitoremediasi meliputi:

1. *Phytoaccumulation (phytoextraction)*,
2. *Rhizofiltration*,
3. *Phytostabilization*,
4. *Rhizodegradation*,
5. *Phytodegradation* atau *phyto transformation*, *Phytovolatilization*
6. Tanaman Eceng gondok dapat tumbuh dengan cepat pada semua air permukaan, sehingga seringkali menimbulkan pendangkalan dan menghambat reaerasi secara alami.



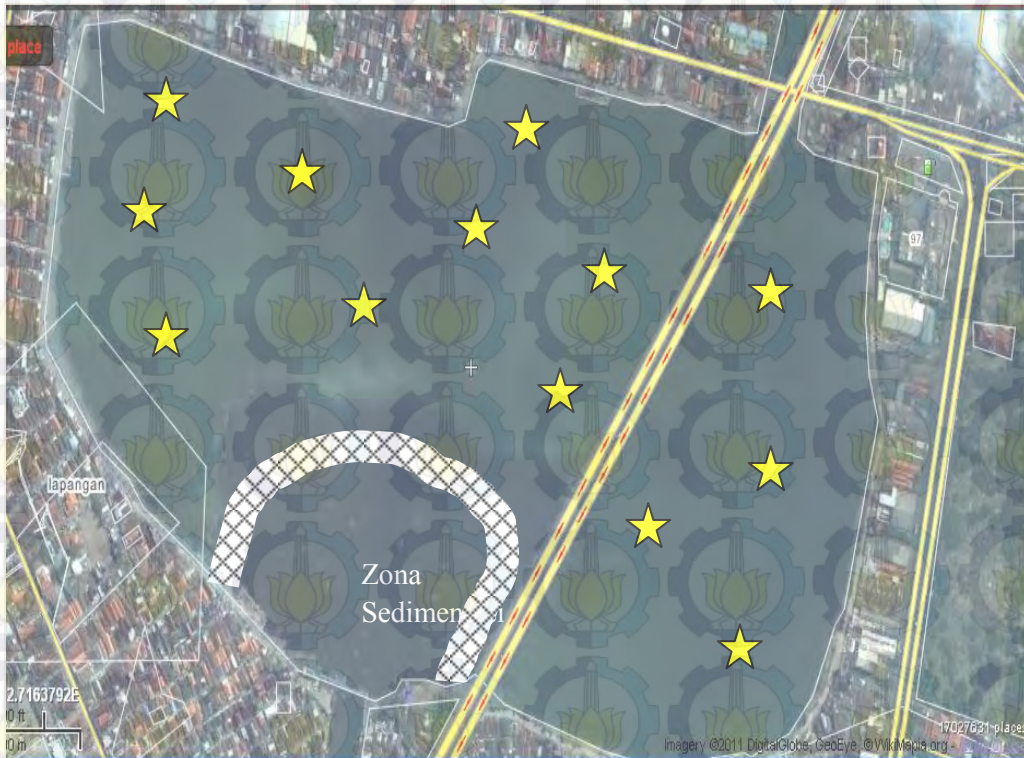
Gambar 4.45 : Profil Tanaman Eceng gondok dengan sistem akar serabut

Pengelolaan secara intensif dengan melakukan pemanenan secara berkala akan diperoleh manfaat yang besar dari eceng gondok. Target utama pemanfaatan tanaman Eceng gondok untuk membantu proses pemulihan adalah mekanisme biofiltrasi pada akar serabutnya. Oleh karenanya, posisi tanaman Eceng gondok sebaiknya diletakkan pada dua lokasi. Lokasi pertama di area setelah inlet dan kedua sebelum outlet Boezem. Pada lokasi pertama berfungsi untuk membantu proses pengendapan polutan, dan lokasi kedua untuk menyaring biomassa hasil proses biodegradasi dengan sistem alga - bakteri . Penelitian eceng gondok untuk

reduksi alga pada efluen kolam stabilisasi oleh Kim and Kim, 2000 menunjukkan hasil yang sangat memuaskan. Penelitian pemanfaatan eceng gondok telah banyak dilakukan untuk pengolahan air limbah dalam sistim kolam. Eceng gondok mampu mereduksi nutrisi dan BOD (Polprasert *et al.*, 1998, Tsutomu *et al.*, 1988). Akar tanaman eceng gondok mampu mensuplai $20 \text{ gr O}_2/\text{m}^2.\text{hari}$ (Burgoon *et al.*, 1995 dalam Polprasert, 1996). Sehingga bakteri dapat tumbuh dan berkembang dalam sistem perakarannya membentuk biofilm yang sekaligus menyerap BOD dan nutrisi. Polprasert (1996) menyatakan beban BOD yang dapat diumpangkan ke sistem eceng gondok dibawah $30 \text{ kg BOD}_5/\text{ha.hari}$.

Usulan perletakan media biofiltrasi pada Boezem di ilustrasikan dalam Gambar 4.46. Jarak tanaman eceng gondok minimal 160 m dari muara Kali Greges. Pada jarak ini, kecepatan air dalam Boezem diperkirakan berada dalam kisaran (0,005 - 0,03) m/detik memenuhi persyaratan terjadinya sedimentasi. Dimensi area tanaman eceng gondok diusulkan berukuran 15 m x 450 m atau 0,675 Ha, dapat menerima beban 20,25 kg BOD₅/hari. Kerapatan tanaman eceng gondok harus di kurangi secara berkala maksimal 2 kali sebulan (Reddy, K.R *et al.*, 1989), agar efektif dan tidak terjadi pembusukan.

Pada sistem akar serabut tanaman eceng gondok akan tumbuh dan berkembang ekosistem bakteri yang berfungsi untuk mendegradasi polutan organik di sekitarnya. Ekosistem bakteri dapat tumbuh tersuspensi dan terlekat membentuk biofilm di sekitar perakaran. Selanjutnya, biofilm pada kondisi tertentu akan mengalami pengelupasan dan terbawa dalam aliran air. Lepas biofilm dan bakteri tersuspensi berperan penting pada sistem alga - bakteri untuk melakukan proses biodegradasi substrat dan nutrisi. Sehingga kombinasi fitoremediasi dan sistem alga - bakteri sangat layak diaplikasi untuk pemulihan Boezem Morokrembangan. Kombinasi fitoremediasi dan sistem alga - bakteri bersifat positif, tanaman berperan menyisihkan sebagian TSS dan TDS sekaligus penyedia bakteri. Sedang sistem alga – bakteri berperan untuk mendegradasi senyawa organik dan nutrisi terlarut yang lolos dari sistem tanaman eceng gondok.



Gambar 4.46 : Ilustrasi posisi Rekayasa pengendali sedimen, unit surface aerator membantu pemulihan kualitas air dalam Boezem

Lumpur hasil pengendapan di pompa secara periodik sesuai perencanaan dan di tiris dalam unit penampungan di sekitar area inlet Boezem. Pengendalian sedimen sangat penting untuk mereduksi beban pencemar, menjaga kedalaman air Boezem agar HRT minimum terpenuhi untuk sistem kolam alga-bakteri. Kajian hidrolis sangat penting dilakukan dalam perencanaan rekayasa fisik agar fungsi Boezem sebagai pengendali banjir dan penerima air limbah domestik perkotaan tetap terjaga.

4.3.3.2. Analisis Penyerapan CO₂ dan Suplai Oksigen Terlarut oleh Alga.

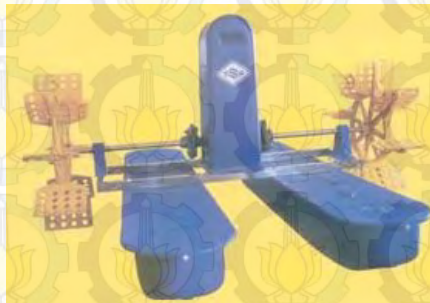
Produktivitas alga dalam suatu sistem HRAP berperan pada besarnya penyerapan CO₂ sekaligus pada penyediaan oksigen terlarut untuk kinerja bakteri. Secara stoikiometri setiap mg sel alga mampu menghasilkan 1,5 mg O₂ (Polprasert, 1996). Hasil penelitian dalam Gambar 4.19 didapatkan rerata

intensitas cahaya sebesar 8130 *ft-candle* sehingga maksimum kedalaman Boezem dapat diestimasi. Jika ditetapkan $[BOD_5]$ input Boezem sebesar 120 mg/L maka estimasi konsentrasi alga = $(120/1,5) = 80$ mg/L (polprasert, 1996). Penetapan kedalaman air dalam Boezem didekati dengan Persamaan 2.2 menggunakan $\alpha = 0,0015$ diperoleh kedalaman air Boezem sebesar 0,75 m. Boezem dengan kedalaman air 0,75 m dan debit air limbah 1350 liter/detik akan memiliki HRT 1,934 hari. Pada kedalaman ini, perhitungan dengan persamaan 2.5 dan 2.5a didapatkan produktivitas alga sebesar 23,09 g sel alga/m².hari. Polprasert (1996) menyatakan proses biodegradasi menghasilkan 1,375 mg CO₂/mg BOD_{5R}, dan sintesa 1 mg sel alga memerlukan 1,92 mg CO₂. Sehingga dapat diestimasi jumlah CO₂ terserap sebanyak 44,3313 gram CO₂/m².hari. Bila 80 % area Boezem difungsikan sebagai sistem alga – bakteri maka jumlah CO₂ terserap sebesar 13334,842 kg CO₂/hari. Pada konsentrasi BOD₅ 120 mg/L rerata beban diterima Boezem sebesar 8447,5 kg BOD₅/hari yang diestimasi akan menghasilkan 8353,125 kg CO₂/hari. Dengan demikian, dapat diyakini, bila sistem alga-bakteri bekerja dengan baik akan mampu menyerap emisi CO₂ dari proses biodegradasi maupun dari atmosfer.

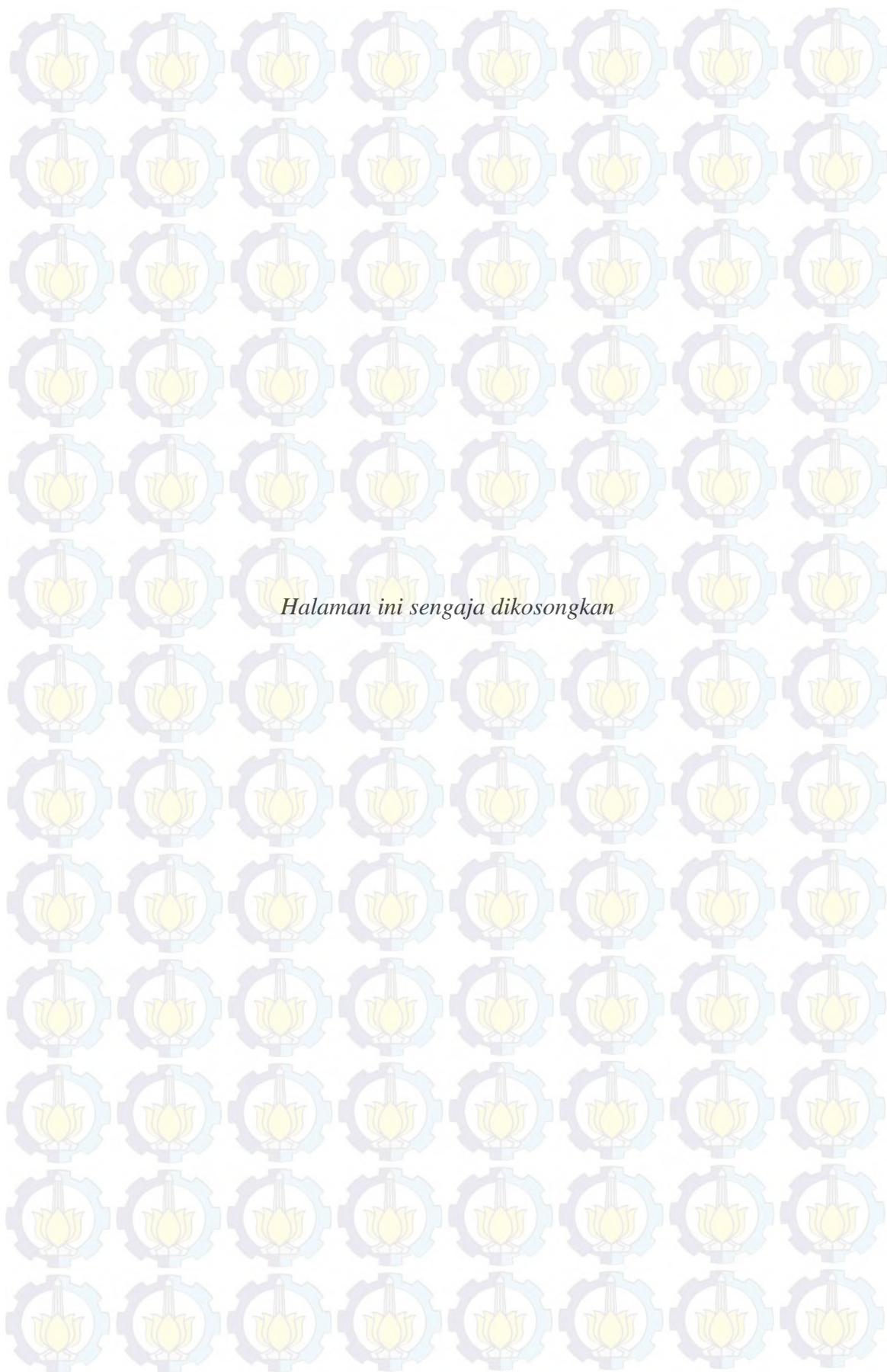
Kebutuhan oksigen pada Boezem ditentukan dengan mempertimbangkan penyisihan BOD karena sedimentasi. Bila diperkirakan penurunan BOD terendapkan sebesar 20 %, maka besar BOD yang masuk ke sistem alga – bakteri 96 mg/L. Sehingga berdasarkan pendekatan Persamaan 2.22 untuk VSS aktif 54 mg/L, maka kebutuhan oksigen diperkirakan sebesar 4404,375 kg O₂/hari. Secara stoikiometri produksi oksigen 1,58 mg O₂/ mg sel alga (Polprasert, 1996), maka produksi oksigen diestimasi sebesar 5486,732 kg O₂/hari. Produksi oksigen dihitung dengan proses fotosintesis terjadi selama 12 jam per hari. Berdasarkan perhitungan ini, sistem alga – bakteri mampu memenuhi kebutuhan oksigen untuk proses biodegradasi BOD dan mungkin proses nitrifikasi.

Sistem alga – bakteri dalam Boezem supaya mendekati operasi sistem HRAP, maka kecepatan aliran air didalamnya dijaga ± 15 cm/detik (Polprasert, 1996). Disamping itu agar sistem alga – bakteri dapat bekerja mendekati kerja

sistem HRAP maka memerlukan aliran air dengan kecepatan air minimum. Kecepatan air dalam sistem HRAP disarankan sekitar 15 cm/detik. Oleh karenanya diperlukan rekayasa sistem dalam Boezem untuk kontrol aliran. Salah satu penggerak kecepatan aliran air dalam Boezem dapat digunakan *surface aerator*. Aerator diperlukan tidak hanya sebagai penggerak aliran, akan tetapi diperlukan saat malam hari untuk mengatasi bila terjadi defisit defisit oksigen, terutama saat kemarau. Mara (2003) menyatakan kebutuhan energi minimum untuk terjadinya *mixing* secara adekuat sebesar 5 W/m^3 volume air. Pada malam hari bila konsentrasi DO dijaga sebesar 2,0 mg/L, dibutuhkan transfer oksigen sebesar 61,3 kg O_2 /jam. Bila digunakan aerator model kincir sebagaimana Gambar 4.47 dengan spesifikasi transfer oksigen 4,99 kg O_2 /jam.unit, diperlukan 13 unit kincir air. Usulan perletakkan aerator dijelaskan dalam Gambar 4.46, namun perlu kajian hidrodinamik agar bisa diperoleh efisiensi dan efektifitas dalam operasionalnya.



Gambar 4.46 Contoh model *Paddle Wheel Aerator*



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN.

Hasil penelitian disertasi dapat disimpulkan bahwa :

1. Boezem Morokrembangan telah tercemar berat air limbah domestik, terjadi pendangkalan dengan cepat, dan kehilangan kemampuan pemulihan diri. Namun, air limbah domestik influen Boezem masih memenuhi persyaratan untuk berkembang biakan sistem alga - bakteri. Rasio BOD_5/COD ; N_i/P_i ; $N-NH_3^+/P-PO_4^-$, masih layak dan memenuhi persyaratan pertumbuhan alga dalam kondisi *eutrophic*. Alga dapat tumbuh dengan baik di dalam Boezem dengan dominasi jenis *Oscillatoria sp*; alga hijau – biru bersel tunggal. Rekayasa peningkatan kinerja sistem alga - bakteri dalam skala laboratorium, merekomendasikan kinerja sistem alga – bakteri terbaik menggunakan pencahayaan alamiah dengan waktu retensi minimum 2 hari. Sistem alga – bakteri dapat dimanfaatkan untuk pemulihan Boezem dengan beberapa persyaratan operasional agar efluennya dapat memenuhi BMA PP no.82/2001. Persyaratan operasional meliputi pengendalian sedimentasi untuk reduksi beban pencemar, menjaga kedalaman air, HRT, dan kecepatan aliran air, mengatur rasio alga/bakteri. *Evaluasi kinerja berbasis koefisien laju biodegradasi dengan HRT 2 hari, Boezem hanya mampu menerima konsentrasi BOD maksimum sebesar 31 mg/L. Pendekatan biokinetika, sistem alga - bakteri mampu memulihkan kinerja Boezem dengan $HRT \geq 2$ hari, rasio alga/bakteri $\geq 0,004$.*

HRT minimum dapat terpenuhi dengan pengendalian sedimen untuk menjaga kedalaman air rerata $\pm 0,75$ m. Rasio alga/bakteri dapat dicapai dengan menyediakan bakteri aktif rerata ± 54 mg/L. Bakteri aktif dapat diperoleh melalui pemanfaatan media biofiltrasi baik media statis maupun fitoremediasi. Pengaturan kecepatan dan arah aliran air pada Boezem harus

dilakukan untuk menjaga kecepatan air sistem HRAP berkisar 15 cm/detik. Pengaturan kecepatan aliran air dapat dilakukan dengan memasang unit aerator yang sekaligus berfungsi menjaga nilai DO di malam hari. Unit aerator sejumlah 13 unit dengan power 1 HP dan transfer oksigen 4,99 kg O₂/jam cukup memenuhi kebutuhan minimum operasional Boezem.

Pemanfaatan sistem alga – bakteri dalam Boezem diestimasi mampu menyerap CO₂ sebesar 13334,842 kg CO₂/hari, melebihi emisi dari proses biodegradasi sebesar 8353,125 kg CO₂/hari. Sehingga diyakini sistem alga – bakteri berperan dalam kontribusi mitigasi pemanasan global.

2. Kondisi Boezem dan kemampuan sistem alga - bakteri untuk pengolahan air limbah domestik menunjukkan bahwa :

1. Boezem Morokrembangan sisi Selatan, tidak mampu menurunkan beban pencemar yang masuk kedalamnya, kualitas efluen tidak memenuhi BMA klas IV PP no. 82/2001. Karakteristik air limbah domestik pada influen Boezem memenuhi persyaratan untuk pertumbuhan sistem alga - bakteri . Rasio BOD/COD = 0,4793; N-NH₃⁺ /P-PO₄⁻ = (2,90 s/d 10,67); N_t/P_t = 2,9. Kandungan Surfaktan = (2,490 ± 0,61) mg/L, salinitas saat musim kemarau sebesar (0,63 ± 0,034) dan pH = (6,9 - 8,02). Perkiraan laju akumulasi lumpur minimal 60,234 m³/hari dan maksimal 744,43 m³/hari. Alga dapat tumbuh dan berkembang dalam Boezem, dengan diversitas cukup besar. Alga Genus *Oscillatoria sp* mendominasi dengan diversitas berdasarkan indeks Shannon pada kisaran (0,999 – 1,506) dan konsentrasi alga sebagai klorofil a dapat mencapai (1,70 ± 0,60) mg/L.

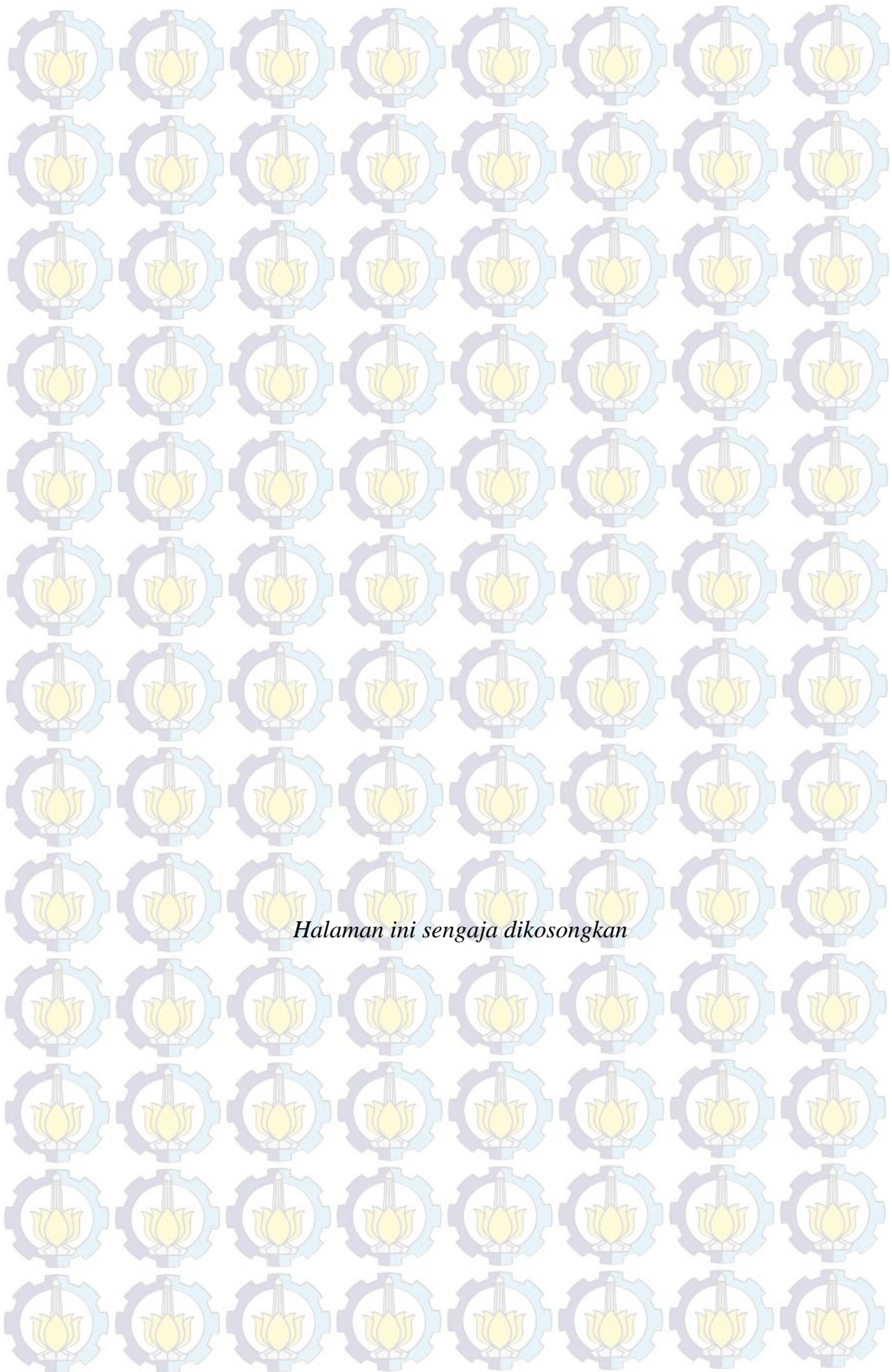
2. Rekayasa operasional pada HRAR proses *batch* maupun aliran kontinyu, kinerja terbaik dilakukan pencahayaan secara alamiah dengan HRT 2 hari. Sistem alga bakteri dapat bekerja pada salinitas Boezem dan mampu menurunkan COD, nutrien dan surfaktan. Banyak faktor berpengaruh pada nilai koefisien biokinetik sistem alga - bakteri. Nilai koefisien biokinetik sistem alga - bakteri dari ekosistem di Boezem, tidak berbeda jauh dari

hasil para peneliti terdahulu. Laju pertumbuhan spesifik biomassa (μ_b) $0,438 \text{ hari}^{-1}$ dan $\mu_{\max} 0,6358 \text{ hari}^{-1}$ dengan nilai $K_s 35,29 \text{ mg/L}$. Koefisien *biodegradability* (K) = $1,675 \text{ COD/hari}$ dengan nilai $Y = 0,5837 \text{ mg VSS/mg COD}$ dan $k_d = 0,03 \text{ hari}^{-1}$.

1.2. SARAN PENELITIAN LANJUTAN

Beberapa saran yang dapat dilakukan sebagai bagian dari kelanjutan penelitian adalah :

1. Metode pengendalian secara insitu dan pengelolaan sedimen dalam Boezem untuk menjaga kedalaman air minimal dalam pemanfaatan sistem alga-bakteri,
2. Analisis pemodelan pola pergerakan air dan perletakkan sistem aerator untuk memenuhi kriteria operasional sistem alga-bakteri sebagai HRAP,
3. Kajian media biofiltrasi sebagai bagian pengelolaan sedimentasi, reduksi beban pencemar, dan penyedia biomassa aktif bagi sistem alga – bakteri.
4. Mengingat kondisi tanah di sekitar Boezem sangat labil, maka diperlukan kajian kedalaman pengerukan yang optimal agar diperoleh kedalaman air yang maksimal untuk peningkatan waktu retensi air yang masuk kedalam Boezem.



DAFTAR PUSTAKA

Agustin,G., Fontes (1987), "Factors Affecting the Production of Biomass by a Nitrogen fixing Blue-green Alga in Outdoor Culture", *Journal of Biomass*, Vol.13, hal. 33-43.

Al-Shayji,Y., Puskas,K., dan Al-Daher,R. (1994), "Production and Separation of algae in a High-Rate Ponds System", *Environmental International*, Vol.20, No.4, hal. 541-550.

American Public Health Association (APHA). (2005), "*Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*", American Water Work Association, Water Environmental Federation.

Anastasakis, K., Ross, A.B., dan Jones, J.M. (2011), "Pyrolysis behaviour of the main carbohydrates of brown macro-algae", *Journal of Fuel*, Vol.90, hal. 598 – 607.

Ansaa, E.D.O., Lubberding, H.J., Ampofo, J.A., dan Gijzena, H.J. (2011), "The role of algae in the removal of Escherichia coli in a tropical eutrophic lake", *Ecolog Engineering*, Vol.37, hal.317–324.

Anonim (2004), "Peraturan Daerah Kota Surabaya No 2 Tahun 2004, Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air". Pemerintah Kota Surabaya

Anonim (2014), "Monitoring dan Evaluasi Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Air Limbah di Instansi Pemerintah dan Kegiatan /Usaha di Kota Surabaya", Laporan tahunan BLH Kota Surabaya.

Anonim. (2015), " Statistik Daerah Kota Surabaya", Badan Pusat Statistik Kota Surabaya.

Araki, S., dan Vazques, F. (2001), "Effect of High-Rate Algal Ponds on Viability of *Cryptosporidium parvum* Oocysts", *Applied And Environmental Micro-biology*, Vol.67, No.7, hal. 3322–3324.

Aslan, S., dan Kapdan, I. K. (2006), "Batch Kinetics of Nitrogen and Phosphorus Removal from Synthetic Wastewater by Algae". *Ecological Engineering*, Vol. 28, Hal 64-70.

Aslan, Sebnem. (2005), "Nitrogen and Phosphorus Removal from Sybthetic Wastewater Using Algal Photobioreactor System". *Dokuz Etlul University Research*.

Aziz, M.A., dan Ngoc, W.J. (1992), "Feasibility of Wastewater Treatment Using the Activated-Algae Process", *Journal of Bioresource Technology*, Vol.40, hal. 205-208.

Azov, Y. dan Shelef, G. (1982), "Operation of High-Rate Oxidation Ponds Theory and Experiments". *Water Research.*, Vol. 16, hal.1153-1160.

Azov, Y., Shelef, G. dan Narkis, N. (1982), "Effect of Hard Detergents on Algae in a High Rate Oxidation Pond", *Journal of Applied and Environmental Microbiogy*, Vol 43, No.2, hal.491-492.

Baird, M.E., dan Midlleton, J.H. (2004), "On relating physical limits to the carbon: nitrogen ratio of unicellular algae and benthic plants ". *Journal of Marine Systems*, Vol.49, hal.169 -175.

Banat, I., Kazmer, P., Ismail, E., dan Al-Daher, R. (1990), "Wastewater Treatment and Algal Productivity in an Integrated Ponding System", *Biological Wastes*, Vol.32, hal.265-275.

Beck, M.B. (1976), "Dynamic Modelling And Control Applications in Water Quality Maintenance", *Water Research*, Vol 10, hal. 575-595.

Bich, N.N., Yaziz, M.I., dan Bakti, N.A.K. (1999), "Combination Of *Chlorella Vulgaris* And *Eichhornia Crassipes* For Wastewater Nitrogen Removal", *Water Resource*, Vol.33, No.10, hal.2357-2362.

Becker, E.W., dan Venkataraman, L.V. (1984), "Alga Production and Utilization of the Blue-green Alga *Spirulina* in India", *Journal of Biomass*, Vol.4, hal. 105-125.

Bhattathiri, P. M. A., dan Devassy, V. P. (1975). *Effect of Salinity on Pigment Concentrations of Some Tropical Phytoplankters*, Panaji: National Institute of Oceanography.

Bich, N.Ngoc., Yaziz, M.I., Bakti, N.A.K. (1999), "Combination of *Chlorella Vulgaris* and *Eichhornia Crassies* for wastewater", *Journal Water Research*, Vol.33, No.10, hal. 2357-2362.

Bosma, R. (2010), "*Towards High Productivities of Microalgae in Photobioreactors*", PhD. Thesis Wageningen University : Netherland

Boyd, C.E. (1990), "*Water Quality In Pond For Aquaculture*", Birmingham Publishing Co.

Bratli, J.L., Skiple, A dan Mjelde, M. (1999), " Restoration of lake Borrevannet Self Purification of Nutrients and Suspended Matter Through Natural Reed-Belts", *Water Science Technology*, Vol 40, No.3, hal.325-332.

Buelna, G., Bhattarai, K.K., dan Noue, J. (1990), "Evaluation of various flocculants for the Recovery of Algal Biomass Grown on Pig-waste", *Journal of Biological Wastes*, Vol.31, hal.211-222.

Buhr, H.O., dan Miller, S.B. (1983), "A Dynamic Model of The High-Rate Algal -Bacterial Wasteater Treatment Pond", *Water Research*, Vol.17, hal.29-37.

Chen, M., Tang, H., Ma, H., Holland, T. C., Simon Ng, K. Y., dan Salley, S. O. (2011), "Effect of Nutrients on Growth and Lipid Accumulation in The Green Algae, *Dunaliella tertiolecta*", *Biosource Technology*, Vol. 102, hal.1649-1655.

Chin, D.A. (2006), "*Water-Quality Engineering In Natural Systems*", John Wiley & Sons, Inc., Publication, New Jersey.

Cloete, T.E., Roux, J.d., Toerien, D.F., Peterse, A.J.H. , dan Downes, M. (1983),"Oxygen Dynamics and Heterotrophic Aspects of a Pond Treatment System for Cattle Feedlot Effluent", *Journal of Agriculture Wastes*, Vol.7, hal.147-174.

Craggs, R.J., Zwart, Alec., Nagels, J.W., dan Colley, R.J.M. (2004), "Modelling Sunlight Disinfection In A High Rate Pond", *Ecological Engineering*, Vol. 22, hal.113-122.

Cromar, N.J., dan Fallowfield, H.J. (1997), "Effect of Nutrient Loading and Retention Time on Performance of High Rate Algal Ponds", *Journal of Applied Phycology*, Vol.9, hal.301:309.

Desantina, M. S. (2012), "Teknis Penanganan Sedimen pada Bagian Selatan Boezem Morokrembangan, Tesis Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – ITS.

Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil Kota Surabaya. (2008), "URL:[http: // www. surabaya.go.id/dispendum/?view=berita&id=1](http://www.surabaya.go.id/dispendum/?view=berita&id=1).

Dippner, J.W., Nguyen Ngoc, L., Doan-Nhu, H., dan Ajit, S. (2011),"A model for the prediction of harmful algae blooms in the Vietnamese upwelling area", *Harmful Algae*, Vol.10, hal.606–611.

Effendi, H. (2003), "Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber daya Lingkungan Perairan", Kanisius Jogjakarta.

El Hamouri, B. (1994), "High-Rate Algal Pond Performance in Faecal Coliforms and Helminth Egg Removals", *Water Resources*, Vol 28. No 1, hal 171-174.

El Hamouri, B. (2008), "The Two-Step Up flow Anaerobic Reactor and the High Rate Algae Pond", Department of Water Environment and Infrastructures, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Morocco.

El Hamouri, B., Jellal, J., Belkhadir, R., Moundib, R., Berrada, R. dan Rhallabi N. (1992), "Interactions between algae and bacteria during wastewater treatment in a HRAP", *In First Asia-Pacific Conference on Algal Biotechnology*, Kuala Lumpur.

El Hamouri, B., Khallayoune, K. Bouzoubaa., Rhallabi, N., dan Challabi, M. (1994), "High - Rate Algal pond Performance in Faecal Coliforms and Helminth Egg Removals", *Journal of Water Resource*, Vol.28, No.1, hal.171-174.

Epinosa, M., A. R., , dan L. G. M., Stephenson, T. (2010), "Growth and Nutrient Removal in Free and Immobilized Green Algae in Batch and Semicontinuous Cultures Treating Real Wastewater", *Biosource Technology*, Vol. 101, hal. 58-64.

Esra T., Filiz, B. D., dan Ulku Y. (2002), "Effectiveness of algae in the treatment of a wood based pulp and paper industry wastewater", *Journal of Bioresource Technology*, Vol.84, hal. 1-5.

Fallowfield, H. J. dan Garrett, M. K. (1985) "The treatment of wastes by algal culture", *J. Appl. Bacterial* Vol.12 (Symposium Supplement), hal.187-205.

Fallowfield, H. J, Martin, N. J., dan Cromar, N. J. (2010), "Performance of a batch-fed High Rate Algal Pond for animal waste treatment", *European Journal of Phycology*, Vol.34, No.3, hal.231-237.

Fabrice, M., Claude, C., Troussleier, dan Jean, B. (1996), "Modelling orthophosphate evaluation in a high rate algal pond", *Ecological Modelling*, Vol.89, hal.13-21.

Fernandez, C. G., Salces, B. M., dan Gonzalez, M. C. G. (2011), "Nitrogen Transformations Under Different Conditions in Open Ponds by Means of Microalgae Bacteria Consortium Treating Pig Slurry", *Biosource Technology*, Vol. 102, hal 960-966.

Gaudy and Gaudy (1981), "Microbiology for Environmental Scientist and Engineers", Mc Graw. Hill, Inc.

Garcia, J., Mujeriego, R., dan Marine, M.H. (2000), "High Rate Algal Pond Operating Strategies for Urban Wastewater Nitrogen Removal", *Journal of Applied Phycology*, Vol.12, hal.331-339.

Garcia, J., Marine, M.H. (2002), "Analysis of Key variables controlling phosphorus removal in high rate oxidation ponds provided clarifiers", *Water Science Applied*, Vol.28. No 1, hal.150-158.

Garcia, J., Green, B.F., Lundquist, T., dan Mujeriego, R. (2006), "Long term diurnal variations in contaminant removal in high rate ponds treating urban wastewater", *Journal Bioresource Technology*, Vol.97, hal.170-1715.

Garcia, M., Felix, Soto., Gonzalez, J.M., dan Eloy, B. (2008), "A Comparison of bacterial removal efficiencies in constructed wetlands algae based systems", *Journal of Ecological Engineering*, Vol.32, hal.238-243.

Gersberg, R.M., dan Silvaggio, D.A. (1992), "Fate of coliphage during wastewater by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)", *Journal Ecological Engineering*, Vol.1, hal.355-363.

Ginot, V., dan Herve, J.C. (1994), "Estimating the parameters of dissolved oxygen dynamics in shallow ponds", *Ecological Modelling*, Vol.73, hal.169-187.

Godos, I. de. Blanco., Saul, Pedro .A., Garcia, E., Becares. E., dan Munoz, R. (2009), "Long term operation of high rate algal ponds for the bioremediation of piggery wastewaters at high loading rates", *Journal of Bioresource Technology*, Vol.100, hal. 4332 - 4339.

Godos, I.de.Blanco. Saul, Pedro.A., Garcia,E., Becares,E., dan Munoz, R. (2010), "Influence of flue gas sparging on the performance of High rate algae ponds treating agro industrial wastewater", *Journal of Hazardous Material*", Vol.179, hal.1049-1054.

Graham, L.E. dan Wilcox, L.W. (2000), "*Algae*", Prentice-Hall.

Gregor, J., dan Marsalek, B. (2004), "Freshwater phytoplankton quantification by chlorophyll-a: a comparative study of in vitro, in vivo and in situ methods", *Water Research*, Vol.38, hal.517–522.

Grobbelaar, J. U., Soeder C. J., Groeneweg, E. S J. dan Hartig, P. (1988), "Rates of Biogenic Oxygen Production in Mass Cultures of Microalgae, Absorption of Atmospheric Oxygen and Oxygen Availability for Wastewater Treatment", *Water Resource*, Vol. 22, hal.1459-1464.

Gu, N., Lin, Q., Li, G., Qin, G., Lin, J., dan Huang, L. (2012), "Effect of Salinity Change on Biomass and Biochemical Composition of *Nannochloropsis oculata*", *Journal of The World Aquaculture Society*, Vol.43, hal 97-106.

Gumilang, R. (2011), "Studi Penentuan Koefisien Biodegradasi Air Limbah Domestik Influen Boezem Morokrembangan", *Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan ITS, Surabaya*.

Guschina, I.A., dan Harwood J. L. (2006), "Lipids and lipid metabolism in eukaryotic algae", *Lipid Research*, Vol.45, hal.160–186.

Hagopian, D.S., dan Riley,J.G. (1998), "*A Closer Look At The Bacteria Of Nitrification*", *Aquacultural Engineering*, Vol.18, hal.223-244.

Hammer, M.J. (1997), "*Water and Waste-Water Technology*", John Wiley and Sons, New York.

Handy, S.M. (2008), "Using quantitative real-time PCR to study competition and community dynamics among Delaware Inland Bays harmful algae in field and laboratory studies", *Journal Harmful Algae*, Vol.7, hal.99 – 613.

Hananta, A.C. (2010), "*Studi kinerja Boezem Morokrembangan pada penurunan kandungan Nitrogen organik dan Total Phopfat*", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP – ITS.

Hargreaves, J.A. (1998), "Nitrogen Biogeochemistry Of Aquaculture Ponds" *Journal Aquaculture*, Vol.166, hal.181-212.

Hargreaves, J.A. (2006), "Photosynthetic suspended - growth systems in aquaculture", *Aquacultural Engineering*, Vol. 34, hal.344-363.

Hasriyani (2010), "*Studi kinerja Boezem Morokrembangan pada penurunan kandungan Total Solid dan Zat Organik sebagai Permanganat Value*", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP – ITS.

Hasan, S.H., Talat,M., dan Rai, S. (2007), "Sorption of cadmium and zinc from aqueous solutions by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)", *Bioresources Technology* Vol.98, hal.918–928.

Hopkins, J.S., Hamilton, R..D., Sandifer, P. A., Browdy, C. L., dan Stokes, A.D. (1993), "Effect of Water Exchange Rate on Production, water Quality, Effluent ccharacteristics And Nitrogen Budgets Of Intensive Shrimp Ponds", *Journal of World Aquaculture Society*, Vol.24, hal.304-320.

Hsueh,H.T., Chu,H., dan Yu, S.T. (2007), "A batch study on the bio-fixation of carbon dioxide in the absorbed solution from a chemical wet scrubber by hot spring and marine algae", *Journal of Chemosphere*, Vol.66, hal.878–886.

Imaoka, T. dan Teranishi, S., (1988), "Rates Of Nutrient Uptake And Growth Of The Water Hyacinth [*Eichhorniacrassipes* (Mart.) Solms]", *Water Resources*, Vol. 22, No. 8, hal. 943-951.

Jalalizadeh, M. (2012), "*Development of an Integrated Process Model for Algae Growth in a Photobioreactor*", Thesis of Master Science in Environmental Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, College of Engineering, University of South Florida

Jianbo, L., Zhihui, F., dan Zhaozheng, Y. (2008), "Performance of a water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) system in the treatment of wastewater from a duck farm and the effects of using water hyacinth as duck feed", *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 20, hal. 513-519.

Kalff, J. (2002), "*Limnology*", Prentice Hall Inc., New Jersey.

Kassim, T.I. (2002), "Possible use of microgreen algae to remove phosphate and nitrate from wastewater" *Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management (EPCOWM)*, hal.628-632.

Kayombo, S., Mbwette, T.S.A., Katima., dan Joergensen, S.E. (2002), "Diurnal Cycles Of Variation Of Physical-Chemical Parameters In Waste Stabilization Ponds", *Water Research*, Vol. 37, hal.2937–2943.

Kayombo, S., Mbwette, T.S.A., Katima., dan Joergensen, S.E. (2003), "Effects of substrate concentrations on the growth of heterotrophic bacteria and algae in secondary facultative ponds", *Journal of Water Research*, Vol.37, hal.2937–2943.

Kim, Youngchul., Kim, Wan-Joong. (2000), "Roles Of Water Hyacinths And Their Roots For Reducing Algal Concentration In The Effluent From Waste Stabilization Ponds", *J. Water Resources*, Vol. 34, No. 13, hal. 3285-3294.

Kjell, I.R., Rainuzzo, J.R., Gunvor, O., dan Olsen, Y. (1997), "A Review of the nutritional effects of algae in marine fish larvae", *Journal of Aquaculture*, Vol.155, hal. 207-221.

Klapper, H. (2003), "Technologies for lake restoration", *J. Limnol.*, Vol.62, hal. 73-90.

Kuo, Jan-Tai., Hsieh, Pin -Hui., Jou,Wei-Shin. (2008a), "Lake Eutrophication modeling management using dynamic programming", *Journal of Environmental Management*, Vol.88, hal.677-687.

Kuo,Jan-Tai., Hsieh, Pin.Hui., Jou, Wei-Shin. (2008), "Lake eutrophication management modeling using dynamic programming", *Journal of Environmental Management*, Vol. 88, hal.677 – 687.

Krupinska, K. and Humbeck, K. (1994), "Light-induces synchronous cultures, an excellent tool to study the cell cycle of unicellular green algae", *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, Vol.26, hal. 217-231.

Kumar, S.M., Miao, H.Z., dan Wyatt, S.K. (2010), "Influence of nutrient loads, feeding frequency and inoculum source on growth of *Chlorella vulgaris* in digested piggery effluent culture medium", *Journal Bioresource Technology*, Vol.101, hal.6012-6018.

Kyle,W.D., Bell, S.S., dan Dawes, C.J. (2009), "The effects of phosphate on the biomineralization of the green alga, *Halimeda incrassata* (Ellis) Lam", *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol.374, hal.123–127.

Lavoie,A., dan Noue, J.de.la. (1985), "Hyperconcentrated Cultures of *Scenedesmus obliquus*". A New Approach Wastewater Biological Tertiary Treatment, *Water Research*, Vol.19, No.11, hal.1427-1442.

Lin, Y. H., Jyh Y. L., Chi R. L., P-Hsiu P. L., dan Fuh L. C. (2003), “Kinetics of Inorganic Carbon Utilization by Microalgal Biofilm in A Flat Plate Bioreactor”, *Chemosphere*, Vol.53, hal 779-787

Linton, S., dan Goulder, R. (1998), “The Duckweed *Lemna minor* compared with the alga *Seleneastrum capricornutum* for bioassay of pond-water richness”, *Journal of Aquatic Botany*, Vol. 60, hal.27-36.

Lim, Sang-Lai., Chu, Wan-Loy., dan Phang, Siew-Moi. (2010), “Use Of *Chlorella Vulgaris* For Bioremediation Of Textile Wastewater”, *Biosource Technology*, Vol.101, hal.7314-7322.

Lohr, S.J., dan Polle, J.E.W. (2012), “Review Isoprenoid biosynthesis in eukaryotic phototrophs: A spotlight on algae”, *Journal of Plant Science*, Vol. 185–186, hal 9–22.

Mandal, S., dan Mallick, N. (2009), “ Microalga *Scenedesmus obliquus* as a Potential Source for Biodiesel Production”, *Appl Microbiology Biotechnology*, Vol. 84, hal 281-291.

Mangkoedihardjo, S. dan Samudro, G. (2010), “ *Fitoteknologi Terapan*”, Jogjakarta: Graha ilmu.

Mara, D. (2003), “*Domestic Wastewater Treatment*”, Earth scan.Inc, London

McGriff, E. C. (1972), “The Removal of Nutrient and Organics by Activated Algae”, *Water Research Pergamon Press* 6, hal 1155-1164.

Mc Garry, M. G., dan Tongkasame, C. (1971), “Water Reclamation And Algae Harvesting”, *J. Water Pollution Control*, Vol.5, hal. 824-835.

Mesple, F., Casellas, C., Troussellier, M., dan, Bontoux, J. (1996), “Modeling Orthophosphate Evolution in a High Rate Algal Pond”, *Journal Ecological Modeling*, Vo.89, hal.13-21.

Mesple, F., Casellas, C., Troussellier, M., Bontoux, J. (1995), "Some Difficulties in modeling Chlorophyll a Evolution in a High Rate Algal Pond Ecosystem", *Journal Ecological Modeling*, Vol.78, hal.25-36.

Metcalf and Eddy. (2004)., "*Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*", *Fourth Edition*. New York, USA: McGraw-Hill.

Middlebrooks, E.J., Jones, N. B., Reynolds, J. H., Tordy, M. F. dan Bishop, R. P. (1979), "*Lagoon Information Source Book*", Ann Arbor Science Publisher, Ann Arbor, USA.

Mihalyfalvy, E., Johnson, H.T., Garreth, M.K., dan Fallowfield C. (1998), "Improved Mixing of High Rate Algal Ponds", *Journal Water Research*, Vol.32, No.4, hal.1334-1337.

Munoz, R. dan Guieyssea, B. (2006), "Algal- Bacterial Processes for the Treatment of Hazardous Contaminant: a review", *Water Research*, Vol. 40, hal. 2799-2815.

Novak, J. T., dan Brune, D. E. (1985), "Inorganic Carbon Limited Growth Kinetics of some freshwater algae", *Water Resource*, Vol 19.No 2, hal.215-225.

Oron, G., dan Oswald, W.J. (1979),"Algae/Bacteria Ratio in High-Rate Ponds Used for Waste Treatment", *Journal of Applied and Environmental Microbiology*, Vol.38, No.4, hal.570-576.

Oswald, W. J., dan Golueke, C. G. (1960), "Biological Transformation Of Solar Energy", *Journal Applied Microbiology*, Vol.2, hal. 223-232.

Oswald W. J. dan Golueke C. G. (1968), "*Large Scale Production Of Algae*", MIT Press, Cambridge.

Oswald, W.J., Gotaas, H.B., Golueke, C.G., dan Kellen, W.R. (1957),"Algae in Waste Treatment", *Journal Sewage Industrial Waste*, Vol.29, hal.437-457.

Park, J.B.K., Craggs, R.J., dan Shilton, A.N. (2011a), "Recycling algae to improve species control and harvest efficiency from a high rate algal pond", *Water Research*, Vol. 45, hal. 6637-6649.

Park, J.B.K., Craggs, R.J, dan Shilton, A.N. (2011), "Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production", *Journal of Bioresource Technology*, Vol.102, hal.35-42.

Paula, P.H.D., McBride, S, Rock, D. N., dan Paul, N.A. (2008), "Integrating filamentous 'green tide' algae into tropical pond - based aquaculture", *Journal of Aquaculture*, Vol.284, hal 74-80.

Peng, Jian-feng., Wang, Bao-zhen., Song, Yong-hui., Peng, Yuan. (2007), "Modelling Nitrogen, Transformation and removal in a duckweed pond : Model application", *Journal of Ecological Modelling*, Vol.206, hal.294-300.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, No. 82. 2001, "pengelolaan kualitas air dan Pengendalian pencemaran air"

Phang, S.M. dan Ong, K.C. (1988), "Algal biomass production in digested palm oil mill effluent", *Biological Wastes*, Vol. 25, hal. 177-191.

Piorreck, M., Klaus, H, B., Pohl, P. (1984), "Biomass production, total protein, chlorophylls, lipids And fatty acids of freshwater green and blue-green algae Under different nitrogen regimes", *Journal of Phytochemistry*, Vol. 23, No.2, hal. 207-216.

Polprasert, C., dan Nawa Raj, K. (1998), "An Integrated Kinetic Model for Water Hyacinth Ponds Used For Wastewater Treatment", *Water Research*, Vol.32 No.1, hal.179-185.

Polprasert, C. (1996), "*Organic Waste Recycling*". Thailand : Asian Institute of Technology.

Profil kota Surabaya. (2006), URL : [http : // www. scribd. com/doc/ 13704032 / Surabaya](http://www.scribd.com/doc/13704032/Surabaya).

Przeslawski, R., Bourdeau, P.E., Doall, M.H., Pan, J., Perino., dan Padilla, D.K. (2008), “The effects of a harmful alga on bivalve larval lipid stores”, *J. Harmful Algae*, Vol.7, hal.802–807.

Ramanan, R., Kannan, K., Deshkar, A., Yadav, R., Chakrabarti, T. (2010), “Enhanced algal CO₂ sequestration through calcite deposition by *Chlorella* sp, and *Spirulina platensis* in a mini raceway Pond”, *Journal of Bioresource Technology*, Vol.12 hal. 2616-2622.

Reynolds, C.S.(2006), “*Ecology of Phytoplankton*”, Cambridge University Press, Cambridge.

Reynolds, T.D dan Richards, P.A. (1996), “*Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*”, PWS Publishing Company, Boston, USA.

Reddy, K.R., dan D'Angelo, E. M. (1990), ” Water hyacinth (*Eichornia crassipes*) as Influenced by Harvesting Frequency”, *Journal of Biomass*, Vol.21, hal. 27-42.

Richard, A.E. (2012), “*Oxygen Dynamics in Algal Based Wastewater Treatment Systems*”, PhD Disertation, School of the Environment, Faculty of Science and Engineering, Flinders University of South Australia.

Riisgard, H. U., Bottiger, L., dan Pleissner, D. (2012). “Effect of Salinity on Growth of Mussels, *Mytilus edulis*, with Special Reference to Great Belt (Denmark)” *Open Journal of Marine Science*, Vol.2, hal 167-176.

Ron, P., Singh, M., Senthil, C, dan Das, K.C. (2011), “Anefficient system for carbonation of high-rate algae pond water to enhance CO₂ ass transfer”, *J.Bioresource Technology*, Vol.102, hal.3240–3245.

Santoso, A.D., Darmawan, R. A., dan Susanto, J. P. (2011), “Mikro Alga Untuk Penyerapan Emisi CO₂ dan Pengolahan Limbah Cair di Lokasi Industri”, *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, Vol. 3, No. 2, hal. 62-70.

Sawyer, Clair N., McCarty, Perry L., dan Parkin, G.F. (1994), ” *Chemistry for Environmental Engineering*” Mc Graw Hill., Singapore.

Setiawan, A. K., Darmawan, R.A., Santoso., dan Stami, A.H., Prasetyadi, P, L., Radini, D., Sa. S. (2008), “*Teknologi Penyerapan Karbondioksida dengan Kultur Fitoplankton pada Fotobioreaktor*”, Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT, Jakarta

Shuler, M. L. dan Kargi, F. (2002) ” *Bioprocess Engineering : Basic Concepts*” Second Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey

Sigee, D. C. (2005). “*Freshwater Microbiology*”. England: John Wiley and Sons, Ltd

Singh, R.N., Sharma., dan Shaishav. (2012), “Development of suitable photobioreactor for algae production – A review”, *J.Renewable and Sustainable Energy*, Vol.16, hal. 2347– 2353.

Sonya, T.D. (2008), “*Molecular approaches to diagnosing nutritional physiology in harmful algae: Implications for studying the effects of eutrophication*”, Biology Department, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA 02543, United States.

Termini, I. D., Prassaone, A., Cattaneo, C., dan Rovatti, M. (2010)., “ On The Nitrogen and Phosphorus Removal in Algal Photobioreactors”, *Ecological Engineering*, Vol.21,hal 5

Travieso, L., Benítez, F., Sánchez, E., Borja, R., Martín A., dan Colmenarejo, M. F. (2006), ”Batch Mixed Culture of *Chlorella vulgaris* Using Settled and Diluted Piggery Waste”, *Ecological Engineering*, Vol. 28, hal 158-165.

Tseng, Kuo-Feng., Huang, Ju-Sheng., dan Liao, I-Chiu. (1991), "Species control of Microalgae in an aquaculture Pond", *Journal of Water Resource*, Vol.25, No.11, hal.

1431-1437.

Wang, X., Qin, B., Gao, G., Wang, Y., Tang, X., dan Otten, T. (2010), "Phytoplankton Community from Lake Taihu, China, has Dissimiliar Responses to Inorganic and Organic Nutrients", *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 22, No.10, hal 1491-1499.

Wang, X., Hao, C., Zhang, F., Feng, C., dan Yang, Y. (2011). "Inhibition of The Growth of Two Blue-green Algae Species (*Microcystis aruginosa* and *Anabaena spiroides*) by Acidification Treatments Using Carbon dioxide", *Biosource Technology*, Vol. 102, hal 5742-5748.

Winkler, M. (2002), "[Fe]-hydrogenases in green algae: photo-fermentation and hydrogen evolution under sulfur deprivation", *Journal of Hydrogen Energy*, Vol.27, hal. 1431 – 1439.

Withers, J.T., Grant, A.J., dan Hinde, R. (1998), "Effects of free amino acids on the isolated symbiotic algae of the coral *Plesiastreagapsipora* (Lamarck): absence of a host release factor response", *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, Vol.120, hal.599–607.

Woertz, I., Feffer, A., Lundquist, T., dan Nelson, Y. (2009a). "Algae Grown on Dairy and Municipal Wastewater for Simultaneous Nutrient Removal and Lipid Production for Biofuel Feedstock", *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 135, hal 1115-1122.

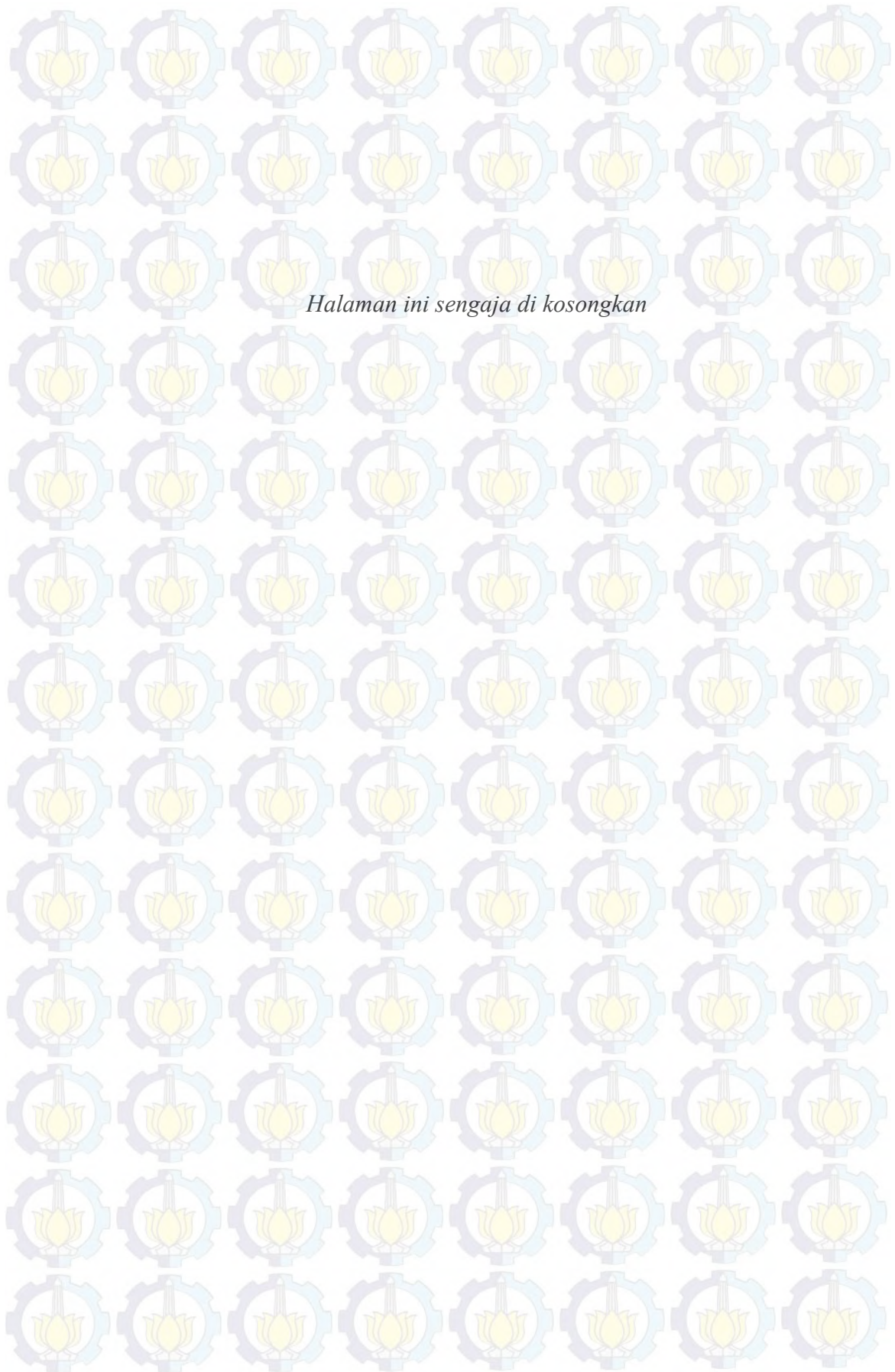
Wong, Yuk-shan., F.Y Tam, Nora . (1997), " *Wastewater Treatment With Alga*", New York : Springer.

Yeesang, C., dan Cheirsilp, B. (2011). "Effect of Nitrogen, Salt, and Iron Content in The Growth Medium and Light Intensity on Lipid Production by Micro-algae Isolated from Freshwater Sources in Thailand", *Biosource Technology*, Vol. 102, hal 3034-3040

Żbikowski, R., Szefer, P., dan Latała, A. (2007), "Comparison of green algae *Cladophora* sp. and *Enteromorpha* sp. as potential biomonitors of chemical elements in the southern Baltic", *Journal of Science of the Total Environment*, Vol.387, hal. 320–332.

Zhang, J., Jorgensen, S. E., Tan, C. O., dan Beklioglu, M. (2003), "Structurally dynamic modeling Lake Morgan Turkey as a case study", *Ecological Modelling*, Vol.164, hal. 103-120.

Xia, H., dan Xiang, J. M. (2006), "Phytoremediation of ethion by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)", *Journal of Bioresource Technology*, Vol. 97, hal. 1050-1054.



LAMPIRAN I

I. Metode Analisis Parameter Penelitian.

- a. Analisis COD dilakukan dengan metode *5220 D Closed Reflux, Titrimetric Method* (APHA, 1998).
- b. Analisis Nitrogen-Ammonium dilakukan dengan menggunakan Metode *Nesslerization*.
- c. Analisis Nitrogen-Nitrat dilakukan dengan menggunakan metode *Brucin Acetat*.
- d. Analisis Nitrogen-Nitrit dilakukan dengan menggunakan *Colorimetric Method*.
- e. Analisis TKN dilakukan dengan menggunakan metode metode *Macro Kjeldahl*.
- f. Analisis Phosphat dilakukan dengan menggunakan *Stannous Chloride Method*.
- g. Analisis DO dan suhu dilakukan dengan menggunakan alat *Oxygen Meter Lutron DO-5510*.
- h. Analisis pH dilakukan dengan menggunakan alat pH meter (APHA, 1999).
- i. Analisis salinitas dilakukan dengan menggunakan alat salinometer (APHA, 1999).
- j. Analisis PV terlarut dilakukan dengan metode Permanganometri (Titrasi dengan KMnO_4). Analisis dilakukan dengan memanfaatkan reaksi oksidasi dimana KMnO_4 berperan sebagai oksidator yang lebih kuat untuk zat organik daripada oksigen. PV dapat diketahui dari jumlah KMnO_4 yang digunakan untuk mengoksidasi zat organik.
- k. Analisis Deterjen didasarkan pada reaksinya dengan Metilen Blue, sehingga konsentrasi deterjen akan dinyatakan dalam konsentrasi MBAS, dimana di dalam analisis ini akan dipergunakan standard LAS.
- l. Analisis *Chlorophyll a* menggunakan metode *Spectrophotometric of Chlorophyll* (APHA, 1998).

m. Analisis MLVSS menggunakan metode *Fixed and Volatile Solid Ignited at 550°C* (APHA, 1998). Sampel diuji kandungan MLSS terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian terhadap nilai MLVSS-nya karena nilai MLVSS merupakan selisih antara MLSS dengan MLFSS.

II. Bahan Kimia untuk analisa parameter yang digunakan dalam penelitian :

- a. Reagen untuk analisis COD, yaitu Larutan $K_2Cr_2O_7$, larutan H_2SO_4 , indikator ferroin, larutan FAS 0,1 M, dan air suling.
- b. Reagen untuk analisis Nitrogen-Ammonium, yaitu Reagen Nessler, Garam Signet, dan Larutan Standar Ammonium.
- c. Reagen untuk analisis Nitrogen-Nitrat, yaitu Brucin Asetat, Asam Sulfat, dan Larutan Standar Nitrat.
- d. Reagen untuk analisis Nitrogen-Nitrit, yaitu Reagen Pewarna dan Larutan Standar Nitrit.
- e. Reagen untuk analisis TKN, yaitu *Digestion Reagent*, Larutan Sodium Tetraborat, Larutan Buffer Borat, NaOH 6N, Larutan Asam Borat, Reagen Nessler, Garam Signet, dan Larutan Standar Ammonium.
- f. Reagen untuk analisis Phosphat, yaitu Ammonium Molybdate, dan indikator $SnCl_2$.
- g. Reagen untuk analisis Klorofil a, yaitu $MgCO_3$, Aseton, dan HCl 0,1 N.
- h. Bahan untuk analisis MLVSS, yaitu kertas saring Watman 42.
- i. Bahan untuk pembuatan air limbah, yaitu gula dan komposisi media tumbuh buatan Bold's Basal Medium (Tabel 3.1). Pada Tabel 3.1 tersebut digunakan KNO_3 sebagai sumber nitrogen dan KH_2PO_4 sebagai sumber phosphat. Namun pada penelitian ini digunakan dua sumber nitrogen, yaitu KNO_3 sebagai sumber nitrat dan NH_4Cl sebagai sumber ammonium. Komposisi masing-masing sumber nitrogen adalah 50%. Hal ini dilakukan untuk mengetahui dan membuktikan bentuk senyawa nitrogen yang lebih disukai oleh alga. KNO_3 , NH_4Cl , dan KH_2PO_4 adalah sumber makronutrien dalam penelitian ini yang divariasikan jumlahnya berdasarkan variasi rasio yang digunakan. Perhitungan kebutuhan gula, makronutrien, dan NaCl dapat dilihat pada Lampiran.

LAMPIRAN II

HASIL PENELITIAN LAPANGAN

Penentuan Debit Pada Hilir Kali Greges Dan Kali Purwodadi.

Pengukuran dilakukan dengan alat current meter Model 201 Portable Water Current Meter. Hasil pengukuran kecepatan dan Hasil pengukuran berupa kecepatan aliran air yang kemudian digunakan untuk menghitung debit air dengan pendekatan rumus :

$$Q = f \times A_c \times V.$$

dimana :

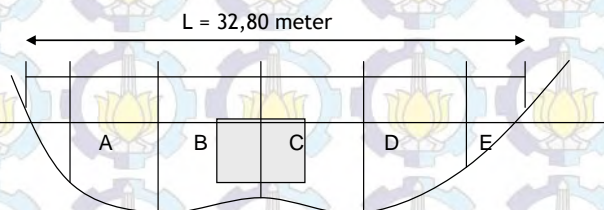
Q = debit air, m^3/det

A_c = luas penampang basah saluran, m^2

V = Rata – rata kecepatan aliran air, m/det

f = faktor koreksi alat *current meter* sebesar 1,2.

Pengukuran kecepatan aliran air dibagi pada beberapa titik pengukuran sebagaimana dijelaskan pada Gambar L-1



Gambar L.- 1 Penampang Basah Saluran saluran Kali Greges

Contoh perhitungan debit saluran Kali Greges saat musim kemarau. Lebar sungai dibagi 5 titik dengan jarak yang sama. Pada masing – masing titik diukur kecepatan aliran air dengan *current meter* yang selanjutnya ditentukan kecepatan aliran rata-rata dengan rumus pendekatan:

$$V \text{ rerata} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i \times V}{\sum_{i=1}^n H}$$

$$Ac = \frac{\sum_{i=1}^n H_i \times L}{n}$$

Luas Penampang basah = $(0,9 + 1,2 + 1,0 + 1,25 + 0,75) \times 32,8/5 = 32,8 \text{ m}^2$, dan debit air adalah luas penampang basah Kali kecepatan rerata = $1,2 \times 3,28 \text{ m}^2 \times 0,09 \text{ m/detik} = 3,46 \text{ m}^3/\text{detik}$. Debit pada saluran lain dan kondisi lain ditentukan dengan prosedur yang sama.

HASIL OBSERVASI KUALITAS AIR BOEZEM TAHUN 2010

Tabel L-1 : Data Hasil Pengukuran Debit air masuk dan keluar Boezem Morokrembangan Tahun 2010

No	Nama Saluran	Debit air rerata, m ³ /detik	
		Saat Musim	Saat musim
		Kemarau	Hujan
1	Kali Purwodadi	0,51	2,54
2	Kali Greges	3,46	39,61
	Total Inlet	3,97	42,15
	Out let	1,81	5,04

Tabel L – 2 : Hasil pengukuran Kualitas Air limbah pada *inlet* Boezem dari Kali Purwodadi, tahun 2010 saat musim kemarau

Hari ke	PV (mg/L)	TS (mg/L)	TSS (mg/L)	COD (mg/L)	N-NH ₃ (mg/L)	P-PO ₄ (mg/L)
1	66,46	676	124	105,0	22,72	0,200
2	57,99	684	232	96,9	21,95	0,180
3	43,97	668	44	73,4	29,65	0,060
4	57,93	568	52	96,8	43,60	0,010
5	50,69	604	80	84,7	24,26	0,090
6	40,40	560	20	75,5	14,13	0,050
7	51,47	584	200	86,0	13,94	0,170
8	53,22	664	192	88,9	26,69	0,150
9	35,92	556	80	60,0	14,86	0,120
10	41,25	692	204	68,9	23,49	0,070
11	63,87	616	80	106,7	21,03	0,050
12	59,80	580	60	56,6	17,95	0,160
13	44,31	508	64	74,0	28,00	0,010
14	48,21	600	104	80,5	23,45	0,090
15	44,77	520	60	74,8	18,29	
16	52,67	644	112	78,8	18,99	
17	59,87	560	60	100,0	16,91	
18	37,25	584	60	62,2	20,60	
19	25,02	632	200	41,8	16,21	
20	28,97	448	124	70,2	12,75	
21	35,55	616	72	59,4	4,43	
22	51,35	600	52	85,8	13,06	
23	57,93	580	60		16,67	
Rata	48,21	598	102	78,5	20,16	0,101
Min	25,02	448	20	41,8	4,43	0,010
Max	66,46	692	232	106,7	43,60	0,200
Dev	11,08	60	62	16,8	7,68	0,063

Tabel L-3 : Hasil pengukuran Kualitas Air limbah pada *inlet* Boezem dari Kali Greges, tahun 2010 saat musim kemarau

Hari ke	PV (mg/L)	TS (mg/L)	TSS (mg/L)	COD (mg/L)	N-NH3 (mg/L)	P-PO4 (mg/L)
1	31,93	444,0	60,0	52,49	17,18	0,32
2	57,34	880,0	104,0	95,78	15,17	0,15
3	48,09	688,0	112,0	80,33	23,49	0,06
4	27,65	656,0	20,0	46,19	28,88	0,05
5	32,26	488,0	24,0	53,89	18,25	0,12
6	33,88	660,0	56,0	53,04	11,57	0,05
7	46,91	584,0	136,0	78,36	11,63	0,14
8	46,57	688,0	60,0	77,79	25,38	0,14
9	38,59	780,0	132,0	64,45	17,95	0,14
10	46,57	572,0	72,0	77,79	24,42	0,02
11	46,57	864,0	100,0	77,79	21,95	0,01
12	43,49	412,0	68,0	39,82	22,57	0,09
13	36,49	868,0	76,0	60,95	41,78	0,08
14	39,09	656,0	76,0	65,30	20,91	0,20
15	38,18	684,0	80,0	63,78	17,21	
16	30,28	728,0	88,0	65,80	19,06	
17	53,22	840,0	44,0	88,90	19,83	
18	45,24	748,0	28,0	75,57	26,23	
19	11,85	520,0	64,0	19,79	15,37	
20	23,7	556,0	60,0	44,54	4,35	
21	25,017	632,0	120,0	41,79	13,83	
22	35,55	512,0	76,0	59,38	6,89	
23	52,67	596,0	76,0	87,98	18,14	
Rata	38,74	654,6	75,3	63,98	19,22	0,11
Min	11,85	412,0	20,0	19,79	4,35	0,01
Max	57,34	880,0	136,0	95,78	41,78	0,32
Dev	10,9	135,3	31,7	18,46	7,74	0,08

Tabel L-4 : Hasil Perhitungan konsentrasi pencemar ke Inlet Boezem dengan neraca Massa, tahun 2010 saat kemarau

Hari ke	PV (mg/L)	TS (mg/L)	TSS (mg/L)	COD (mg/L)	N-NH ₃ (mg/L)	P-PO ₄ (mg/L)
1	36,37	474	68,2	59,2	17,892	0,305
2	57,42	855	120,4	95,9	16,041	0,154
3	47,56	685	103,3	79,4	24,281	0,060
4	31,54	645	24,1	52,7	30,771	0,045
5	34,63	503	31,2	57,8	19,022	0,116
6	34,72	647	51,4	55,9	11,899	0,050
7	47,50	584	144,2	79,3	11,927	0,144
8	47,42	685	77,0	79,2	25,548	0,141
9	38,25	751	125,3	63,9	17,553	0,137
10	45,89	587	89,0	76,6	24,301	0,026
11	48,79	832	97,4	81,5	21,832	0,015
12	45,59	434	67,0	42,0	21,976	0,099
13	37,49	822	74,5	62,6	40,010	0,071
14	40,26	649	79,6	67,3	21,236	0,186
15	39,03	663	77,4	65,2	17,349	0,000
16	33,16	717	91,1	67,5	19,051	
17	54,08	804	46,1	90,3	19,455	
18	44,21	727	32,1	73,9	25,507	
19	13,54	534	81,5	22,6	15,478	
20	24,38	542	68,2	47,8	5,429	
21	26,37	630	113,8	44,1	12,622	
22	37,58	523	72,9	62,8	7,683	
23	53,35	594	73,9	76,7	17,951	
Rata	39,96	647	78,7	65,4	19,340	0,103
Min	13,54	434	24,1	22,6	5,429	0,000
Max	57,42	855	144,2	95,9	40,010	0,305
Dev	10,32	118	30,4	16,8	7,454	0,079

Tabel L-5 : Hasil Pengukuran pada Outlet Boezem, tahun 2010 saat musim kemarau

Hari ke	PV (mg/L)	TS (mg/L)	TSS (mg/L)	COD (mg/L)	N-NH ₃ (mg/L)	P-PO ₄ (mg/L)
1	37,79	672	76	76,93	7,78	0,17
2	36,49	496	72	60,95	20,26	0,05
3	43,97	396	68	73,44	27,34	0,04
4	35,55	524	20	59,38	31,81	0,06
5	27,65	344	24	46,19	9,01	0,07
6	23,46	480	48	33,26	6,89	0,04
7	31,93	516	108	53,33	3,00	0,14
8	42,58	548	64	71,12	20,06	0,11
9	59,87	560	100	100,02	12,25	0,07
10	41,25	744	128	68,90	34,12	0,02
11	34,59	292	56	57,79	28,88	0,01
12	53,01	300	64	50,44	26,57	0,04
13	26,06	516	72	43,53	27,84	0,06
14	33,88	680	76	56,59	13,44	0,08
15	34,23	724	84	57,18	18,91	
16	28,97	384	76	50,22	16,52	
17	49,23	708	40	82,23	15,52	
18	45,24	772	36	75,57	20,37	
19	31,60	420	68	52,79	12,13	
20	31,60	628	84	34,26	8,20	
21	28,97	508	68	48,39	14,36	
22	34,23	416	44	57,18	8,13	
23	25,02	468	76	41,79	13,21	
Rata	36,40	526	67	58,76	17,24	0,07
Min	23,46	292	20	33,26	3,00	0,01
Max	59,87	772	128	100,02	34,12	0,17
Dev	9,21	142	25	15,95	8,76	0,04

Tabel L – 6: Hasil pengukuran Kualitas Air limbah pada *inlet* Boezem dari Kali Purwodadi, tahun 2010 saat musim hujan.

	PV	TS	TSS	COD	N-NH ₃	P-PO ₄
Hari ke	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
1	21,75	188,00	108,00	36,33	8,97	0,18
2	39,92	348,00	112,00	66,68	7,43	0,1
3	27,94	140,00	64,00	46,67	11,63	0,01
4	33,71	668,00	64,00	56,30	11,48	0,09
5	43,49	760,00	100,00	63,86	17,37	0,25
6	16,94	416,00	40,00	63,86	14,11	0,17
7	31,93	476,00	60,00	63,86	18,83	0,15
Rata	30,81	428,00	78,29	56,79	11,83	0,13
Min	16,94	140,00	40,00	36,33	7,43	0,01
Max	43,49	760,00	112,00	66,68	17,37	0,25

Tabel L – 7: Hasil pengukuran Kualitas Air limbah pada *inlet* Boezem dari Kali Greges , tahun 2010 saat musim hujan

	PV	TS	TSS	COD	N-NH ₃	P-PO ₄
Hari ke	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
1	27,18	116,00	60,00	45,41	7,82	0,32
2	27,94	396,00	92,00	46,67	3,43	0,15
3	21,29	220,00	72,00	35,56	11,17	0,06
4	26,68	560,00	92,00	44,57	6,24	0,05
5	23,11	488,00	124,00	33,70	9,82	0,12
6	26,06	744,00	36,00	43,53	17,05	0,05
7	57,21	912,00	96,00		13,61	0,14
Rata	29,93	490,86	81,71	41,58	9,255	0,125
Min	21,29	116,00	36,00	33,70	3,43	0,05
Max	57,21	912,00	124,00	46,67	17,05	0,32

Tabel L-8 : Hasil Perhitungan konsentrasi pencemar ke Inlet Boezem dengan neraca Massa, tahun 2010 saat kemarau

Hari ke	PV (mg/L)	TS (mg/L)	TSS (mg/L)	COD (mg/L)	N-NH ₃ (mg/L)	P-PO ₄ (mg/L)
1	26,85	120,34	62,89	44,86	7,89	0,31
2	28,66	393,11	93,21	47,88	3,67	0,15
3	21,69	215,18	71,52	36,23	11,20	0,06
4	27,10	566,51	90,31	45,28	6,56	0,05
5	24,34	504,39	122,55	36,05	10,28	0,13
6	25,51	724,23	36,24	42,62	16,87	0,06
7	55,69	885,73	93,83	93,03	13,93	0,14
Rata	29,98	487,07	81,51	49,42	10,06	0,13
Min	21,69	120,34	36,24	36,05	3,67	0,05
Max	55,69	885,73	122,55	93,03	16,87	0,31

Tabel L – 9 : Hasil Pengukuran pada Outlet Boezem, tahun 2010 saat musim hujan.

Hari ke	PV (mg/L)	TS (mg/L)	TSS (mg/L)	COD (mg/L)	N-NH ₃ (mg/L)	P-PO ₄ (mg/L)
1	23,11	152	92	38,60	5,97	0,17
2	33,26	356	88	55,56	6,05	0,05
3	19,96	280	80	33,34	11,95	0,04
4	26,68	280	80	44,57	7,02	0,06
5	21,75	344	80	36,33	9,51	0,07
6	14,33	416	28	23,94	5,49	0,04
7	23,95	464	72	40,01	7,45	0,14
Rata	23,291	327,429	74,286	38,907	7,634	0,081
Min	14,330	152,000	28,000	23,944	5,490	0,040
Max	33,260	464,000	92,000	55,564	11,950	0,170

LAMPIRAN II (lanjutan)

HASIL PENELITIAN LAPANGAN TAHUN 2011

Tabel L-10 : Hasil Pengukuran Debit air Boezem Morokrembangan
Musim Kemarau

Nama Saluran	Lebar (cm)	Titik Sampling	Kedalaman Air (cm)	Kecepatan Air (cm/s)	Debit Air (m ³ /s)
Purwodadi	797	1	30	7	0,309
		2	40	11	
		3	40	8	
		Rata-rata	36,67	8,82	
Geges	3280	1	130	8	5,392
		2	140	10	
		3	150	14	
		4	170	7	
		5	160	7	
		Rata-rata	150	9,133	
Outlet	3591	1	90	9	5,114
		2	150	11	
		3	100	11	
		Rata-rata	113	10,47	

Sumber: Hasil Pengukuran Debit, 2011

Tabel L-11 : Debit air Boezem Morokrembangan Musim Hujan

Nama Saluran	Lebar Air dalam Saluran (cm)	Titik Sampling	Kedalaman Air (cm)	Kecepatan Air (cm/s)	Debit Air (m ³ /s)
Purwodadi	725	1	30	17	0,502
		2	50	14	
		3	40	13	
		Rata-rata	40	14,42	
Greges	3400	1	152	15	14,418
		2	197	17	
		3	192	20	
		4	196	25	
		5	165	20	
		Rata-rata	180,4	19,59	
Outlet	3655	1	145	16	12,997
		2	210	20	
		3	158	15	
		Rata-rata	171	17,33	

Sumber: Hasil Pengukuran Debit, 2011

Tabel L-12 : Hasil Penengukuran Konsentrasi COD,(mg/L) Saat musim kemarau tahun 2011

Hari Ke	Greges,	Purwodadi,	Titik 4	Titik 5	Outlet
	Titik 1	Titik 3			Titik 2
1	240	256	224	240	208
2	176	272	288	96	256
3	144	160	160	112	128
4	224	144	256	160	192
5	128	128	112	80	72
6	256	160	80	48	96
7	144	144	80	96	80
8	160	160	112	64	96
9	160	176	144	160	160
10	192	256	162	137	224
Rata	182,4	185,6	161,8	119,3	151,2
Min	128	128	80	48	72
Max	256	272	288	240	256
Stdev	44,108956	53,96953873	72,519423	56,78429	66,01818

Tabel L-13 : Hasil Pengukuran Konsentrasi Total Solid, TS (mg/L) Saat musim kemarau, tahun 2011

Hari	Greges,	Purwodadi,			Outlet
Ke	Titik 1	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Titik 2
1	1100	1508	3056	1612	952
2	1116	1492	2988	2136	948
3	1852	2740	2932	1604	884
4	544	628	948	712	820
5	544	616	1016	692	700
6	952	880	724	936	808
7	860	852	972	996	972
8	720	828	808	840	836
9	824	688	776	916	736
10	892	808	796	863	828
Rata	940,4	1104	1501,6	1130,7	848,4
Min	544	616	724	692	700
Max	1852	2740	3056	2136	972
Stdev	376,039	658,744	1033,0351	482,168	91,203

Tabel L-14 : Hasil Pengukuran Konsentrasi Total Suspended Solid,TSS (mg/L) saat musim kemarau tahun 2011

Hari Ke	Greges, Titik 1	Purwodadi, Titik 3	Titik 4	Titik 5	Outlet Titik 2
1	52	72	92	84	20
2	24	34	108	68	32
3	32	72	24	20	12
4	22	28	120	80	4
5	42	44	116	60	44
6	56	44	36	44	60
7	28	20	40	96	20
8	88	76	80	72	20
9	24	32	52	36	44
10	48	68	69	41	56
Rata	41,60	49,00	73,70	60,10	31,20
Min	22,00	20,00	24,00	20,00	4,00
Max	88,00	76,00	120,00	96,00	60,00
Stdev	20,52	21,07	34,97	24,20	19,03

Tabel L-15 : Hasil Pengukuran Konsentrasi DO, (mg/L) Saat musim kemarau tahun 2011

Hari Ke	Greges, Titik 1	Purwodadi, Titik 3	Titik 4	Titik 5	Outlet Titik 2
1	2,2	0,9	6,1	2,4	4,7
2	5,4	0,6	6,4	3,0	2,0
3	4,3	1,1	6,7	3,9	2,9
4	0,6	0,6	7,8	0,8	0,8
5	1,8	1,0	5,4	1,2	0,6
6	1,1	1,1	6,3	4,0	3,2
7	0,9	0,8	4,2	1,1	1,4
8	1,4	0,7	6,4	1,4	4,7
9	1,3	1,2	4,4	1,1	0,6
10	1,5	0,7	5,7	1,6	2,7
Rata	2,05	0,87	5,94	2,05	2,36
Min	0,60	0,60	4,20	0,80	0,60
Max	5,40	1,20	7,80	4,00	4,70
Stdev	1,56	0,22	1,07	1,20	1,55

Konsentrasi zat Pencemar yang masuk ke dalam Boezem dihitung dengan konsep neraca massa

Tabel L-16 : Hasil Perhitungan konsentrasi pencemar ke Inlet Boezem dengan neraca Massa, tahun 2011

Hari Ke	Saat Musim kemarau					Hujan				
	COD, mg/L	TS, mg/L	TSS, mg/L	N-NH ₃ , mg/L	P - PO ₄ mg/L	COD, mg/L	TS, mg/L	TSS, mg/L	N-NH ₃ , mg/L	P - PO ₄ mg/L
1	241	1122,1	53,1	13,2	11,1	113	505,2	16,3	10,1	10,1
2	181	1136,4	24,5	12,1	13,3	195	791,7	26,9	10,2	12,4
3	145	1845,9	34,2	16,8	11,8	364	645,0	76,5	13,2	9,6
4	220	548,6	22,3	14,1	14,4	253	560,8	18,8	8,9	11,1
5	128	547,9	42,1	10,8	14,5	129	888,5	17,9	30,4	9,0
6	251	948,1	55,3	20,3	12,6	191	756,2	16,6	4,9	11,1
7	144	859,6	27,6	19,5	10,1	191	547,8	37,8	18,6	9,2
8	160	725,9	87,3	26,4	16,0	127	707,9	48,4	25,5	10,1
9	161	816,6	24,4	21,7	9,9	113	760,5	44,3	8,7	10,6
10	195	887,4	49,1	14,0	13,2	113	737,3	33,0	6,7	6,8
Rata	183	943,8	42,0	16,9	12,7	179	690,1	33,7	13,7	10,0
Min	128	547,9	22,3	10,8	9,9	113	505,2	16,3	4,9	6,8
Max	251	1845,9	87,3	26,4	16,0	364	888,5	76,5	30,4	12,4
Stdev	43	375,6	20,2	5,0	2,0	81	122,3	19,1	8,5	1,5

Tabel L-17 : Hasil Pengukuran Konsentrasi COD,(mg/L) Saat musim Hujan tahun 2011

Hari Ke	Greges, Titik 1	Purwodadi, Titik 3	Titik 4	Titik 5	Outlet Titik 2
1	112	128	64	128	48
2	192	272	304	208	416
3	368	240	176	208	176
4	256	160	128	128	48
5	128	144	80	128	96
6	192	160	160	96	144
7	192	176	208	272	224
8	128	104	344	192	72
9	112	128	96	112	72
10	112	128	96	127	96
Rata	179	164	166	160	139
Min	112	104	64	96	48
Max	368	272	344	272	416
Stdev	82,21	53,23	95,26	56,51	112,84

Tabel L-18 : Hasil Pengukuran Konsentrasi Total Solid,TS (mg/L) Saat musim Hujan tahun 2011

Hari Ke	Greges, Titik 1	Purwodadi, Titik 3	Titik 4	Titik 5	Outlet Titik 2
1	504	540	268	320	444
2	792	784	680	632	720
3	640	788	752	748	660
4	556	700	724	656	484
5	896	672	648	636	596
6	764	532	620	688	688
7	552	428	740	812	704
8	708	704	788	800	688
9	760	776	744	720	688
10	736	776	678	543	632
Rata	691	670	664	656	630
Min	504	428	268	320	444
Max	896	788	788	812	720
Stdev	124,61	127,35	148,46	143,49	95,24

Tabel L-19 : Hasil Pengukuran Konsentrasi Total Suspended Solid, TSS
(mg/L) Saat musim Hujan tahun 2011

Hari Ke	Greges, Titik 1	Purwodadi, Titik 3	Titik 4	Titik 5	Outlet Titik 2
1	16	24	100	76	44
2	26	52	60	72	22
3	76	92	56	56	26
4	18	42	32	4	12
5	18	16	20	12	18
6	16	34	88	4	28
7	38	32	124	32	14
8	48	60	28	56	24
9	44	52	116	132	32
10	32	62	104	98	26
Rata	33,20	46,60	72,80	54,20	24,60
Min	16,00	16,00	20,00	4,00	12,00
Max	76,00	92,00	124,00	132,00	44,00
Stdev	19,14	22,05	38,50	42,27	9,24

Tabel L-20 Hasil Pengukuran Konsentrasi DO, (mg/L) Saat musim Hujan tahun 2011

Hari Ke	Greges, Titik 1	Purwodadi, Titik 3	Titik 4	Titik 5	Outlet Titik 2
1	2,2	0,9	6,1	2,4	4,7
2	5,4	0,6	6,4	3,0	2,0
3	4,3	1,1	6,7	3,9	2,9
4	0,6	0,6	7,8	0,8	0,8
5	1,8	1,0	5,4	1,2	0,6
6	1,1	1,1	6,3	4,0	3,2
7	0,9	0,8	4,2	1,1	1,4
8	1,4	0,7	6,4	1,4	4,7
9	1,3	1,2	4,4	1,1	0,6
10	1,5	0,7	5,7	1,6	2,7
Rata	2,1	0,9	5,9	2,1	2,4
Min	0,6	0,6	4,2	0,8	0,6
Max	5,4	1,2	7,8	4,0	4,7
Stdev	1,6	0,2	1,1	1,2	1,6

Tabel L-21: Hasil Pengukuran Konsentrasi Nitrogen Ammonia, N-NH₃, (mg/L) tahun 2011

Hari ke	musim kemarau				Musim hujan			
	Purwodadi	Greges	Total Inlet	Outlet	Purwodadi	Greges	Total Inlet	Outlet
1	18,74	12,83	13,15	4,90	17,05	9,88	10,12	5,77
2	8,39	12,31	12,10	3,81	26,40	9,58	10,15	6,64
3	28,06	16,19	16,83	10,63	21,94	12,85	13,16	18,71
4	29,81	13,15	14,05	11,01	19,23	8,57	8,93	14,77
5	16,43	10,45	10,77	9,41	35,40	30,24	30,42	13,20
6	32,69	19,58	20,29	17,22	23,43	4,28	4,93	4,63
7	39,95	18,27	19,45	12,94	23,43	18,44	18,61	17,13
8	25,61	26,40	26,36	21,42	26,84	25,44	25,48	16,87
9	28,58	21,33	21,72	9,27	20,98	8,22	8,65	13,46
10	29,02	13,11	13,97	3,32	13,81	6,47	6,72	6,82
Rerata	25,73	16,36	16,87	10,39	22,85	13,40	13,72	11,80
Min	8,39	10,45	10,77	3,32	13,81	4,28	4,93	4,63
Max	39,95	26,40	26,36	21,42	35,40	30,24	30,42	18,71
Stdev	8,99	4,99	4,97	5,78	5,96	8,58	8,45	5,33

Tabel L-22 : Hasil Pengukuran Konsentrasi Phosphat, PO₄ (mg/L) tahun 2011

Hari ke	musim kemarau				Musim hujan			
	Total							
	Purwodadi	Greges	Inlet	Outlet	Purwo-dadi	Greges	Total Inlet	Outlet
1	5,24	5,9	11,13	5,42	6,84	3,23	10,07	3,7
2	6,79	6,46	13,25	5,68	6,09	6,32	12,41	2,93
3	6,16	5,59	11,75	5,52	5,76	3,82	9,58	3,59
4	8,25	6,16	14,41	5,19	7,31	3,77	11,09	2,36
5	7,08	7,43	14,5	5,05	4,76	4,25	9,01	2,12
6	7,31	5,28	12,59	4,29	5,94	5,14	11,09	4,19
7	6,56	3,58	10,14	4,15	4,86	4,29	9,15	4,15
8	11,42	4,58	15,99	3,92	5,33	4,76	10,09	5,28
9	5,09	4,76	9,86	4,25	5,66	4,95	10,61	3,07
10	6,51	6,7	13,21	5,9	3,33	3,44	6,77	3,82
Rerata	7,04	5,64	12,68	4,94	5,59	4,40	9,99	3,52
Min	5,09	3,58	9,86	3,92	3,33	3,23	6,77	2,12
Max	11,42	7,43	15,99	5,9	7,31	6,32	12,41	5,28
Stdev	1,80	1,14	1,99	0,72	1,12	0,93	1,52	0,94

Tabel L-23 : Hasil Pengukuran suhu (°C) pada Boezem , Tahun 2011

Hari ke	Titik inlet Kali Greges	Titik Inlet Kali Purwodadi	Badan air Sisi Kanan	Badan Air Sisi Kiri	Out Let	Rata
1	32,9	32,9	35,2	34,9	33,1	33,8
2	31,7	33,3	32,6	34,9	32,6	33,0
3	33,2	31,6	34,9	32,4	32,4	32,9
4	33,4	32,0	35,6	33,9	32,5	33,5
5	32,4	31,5	32,2	31,5	30,1	31,5
6	32,2	30,9	33,5	33,9	32,5	32,6
7	30,5	30,4	31,3	31,6	32,0	31,2
8	30,7	30,3	32,1	32,7	30,2	31,2
9	31,2	30,0	31,9	31,4	31,5	31,2
10	30,7	30,4	32,0	32,7	30,2	31,2
Rata	31,9	31,3	33,1	33,0	31,7	32,2
Std dev	1,1	1,1	1,6	1,3	1,1	1,3
Min	30,5	30,0	31,3	31,4	30,1	30,7
Max	33,4	33,3	35,6	34,9	33,1	34,1

Tabel L-24 : Hasil Pengukuran suhu (°C) pada Boezem , Tahun 2011

Musim Hujan

Hari ke	Titik inlet	Titik Inlet	Badan Air			
	Kali	Kali	Badan air	Sisi Kiri	Out Let	Rata
	Greges	Purwodadi	Sisi Kanan			
1	30,2	29,4	29,3	28,5	30,4	29,56
2	29,0	29,3	28,8	29,2	28,8	29,02
3	30,2	29,1	30,1	32,2	30,9	30,50
4	30,1	30,5	31,0	30,5	29,4	30,30
5	25,5	29,6	30,4	31,4	30,2	29,42
6	30,5	29,3	32,5	30,8	31,5	30,92
7	30,8	29,1	31,0	30,9	31,5	30,66
8	29,4	28,9	30,4	30,9	29,8	29,88
9	29,1	29,6	29,4	29,2	29,1	29,28
10	29,4	29,7	29,2	29,4	29,1	29,36
Rata	29,42	29,45	30,21	30,3	30,7	29,89
Std dev	1,51	0,45	1,11	1,2	1,0	1,05
Min	25,5	28,90	28,80	28,5	28,8	28,10
Max	30,8	30,50	32,50	32,2	31,5	31,50

LAMPIRAN II : HASIL PENELITIAN LAPANGAN TAHUN 2013

Tabel L– 25: Hasil penelitian pada muara Kali Greges menuju ke Boezem
Morokkrempangan Selatan saat musim Hujan, 2013

Sampling Ke	N-NO ₃ ⁻ mg/L	N-NH ₃ ⁺ mg/L	P-PO ₄ ⁼ mg/L	COD mg/L	Salinitas ppt	Detergen mg/L	Phenol mg/L
1	0,457	34,538	4,191	116	0,39	0,137	0,340
2	0,826	14,017	3,507	113	0,50	0,211	0,420
3	0,927	34,104	3,237	177	0,32	0,281	0,640
4	0,514	25,578	8,255	232	0,54	0,298	0,700
5	0,655	36,272	5,755	160	0,51	0,426	0,600
Rerata	0,676	28,902	4,989	160	0,45	0,271	0,540
Min	0,457	14,017	3,237	113	0,32	0,137	0,340
Max	0,927	36,272	8,255	232	0,54	0,426	0,700
Stdev	0,200	9,297	2,071	49	0,09	0,108	0,153

Tabel L – 26: Hasil penelitian pada muara Kali Greges menuju ke Boezem
Morokkrempangan Selatan saat musim kemarau, 2013

Sampling Ke	N-NO ₃ ⁻ mg/L	N-NH ₃ ⁺ mg/L	P-PO ₄ ⁼ mg/L	COD mg/L	Salinitas ppt	Detergen mg/L	Phenol mg/L
1	0,842	40,809	6,92	201,60	0,67	2,349	1,44
2	0,294	47,977	8,23	261,82	0,58	2,522	1,70
3	0,503	38,728	6,61	239,04	0,63	2,279	1,66
4	0,484	34,335	6,83	225,60	0,65	2,232	1,32
5	0,553	31,676	7,11	326,40	0,62	2,250	1,58
Rerata	0,535	38,705	7,142	250,89	0,63	2,326	1,54
Min	0,294	31,676	6,610	201,60	0,58	2,232	1,32
Max	0,842	47,977	8,228	326,40	0,67	2,522	1,70
Stdev	0,198	6,303	0,634	47,515	0,03	0,118	0,16

Tabel L – 27 Hasil penelitian konsentrasi TS, TVS pada muara Kali Greges menuju ke Boezem Morokkrembangan Selatan, 2013

Sampling ke	Kemarau			Hujan		
	TS,mg/L	TVS,mg/L	TVS/TS	TS,mg/L	TVS,mg/L	TVS/TS
1	946,144	258,039	0,273	473,143	247,837	0,524
2	1046,492	229,368	0,219	518,204	168,980	0,326
3	673,769	243,704	0,362	371,755	208,408	0,561
4	946,144	229,368	0,242	349,224	180,245	0,516
5	616,427	315,381	0,512	461,878	214,041	0,463
Rerata	845,795	255,172	0,322	434,841	203,902	0,478
Min	616,427	229,368	0,219	349,224	168,980	0,326
Max	1046,492	315,381	0,512	518,204	247,837	0,561
Stdev	188,827	35,695	0,119	71,515	30,954	0,092

LAMPIRAN II (lanjutan) HASIL PENELITIAN LAPANGAN TAHUN 2014

Tabel L-28 : Hasil Pengukuran Kualitas Air Limbah masuk ke Boezem dari Kali Greges tahun 2014

Waktu	Parameter													
sampling,	TSS	VSS	TS	TVS	PV	COD	NO ₃	NH ₃	Ntotal	PO ₄	Ptotal	Klorofil	Surfaktan	
(hari ke)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
1	188	92	844	320	64,84	93,70	1,01	10,81	11,23	0,70	0,97	0,08	2,71	
2	68	28	724	228	18,33	27,33	1,01	5,53	13,36	0,98	1,88	0,04	-	
3	72	48	840	248	38,68	54,66	1,17	8,20	12,43	1,28	8,02	0,04	-	
4	152	60	640	156	44,49	58,56	1,43	2,42	13,05	0,49	4,53	0,09	-	
5	64	48	652	176	44,49	60,51	3,47	5,55	14,98	0,80	3,74	0,03	2,96	
6	84	72	604	176	61,94	87,84	1,29	3,78	10,81	0,88	5,31	0,09	-	
7	60	28	796	104	53,21	76,13	2,03	8,25	9,89	0,68	3,74	0,03	-	
8	92	52	792	204	47,40	65,18	1,52	5,89	12,01	1,13	4,09	0,05	-	
9	64	52	640	224	56,12	66,37	1,25	3,49	11,59	2,47	4,67	0,08	-	
10	60	36	812	220	44,49	61,49	0,98	4,94	10,77	1,85	3,94	0,03	1,79	
Rerata	90,4	51,6	734,4	205,6	47,40	65,18	1,51	5,89	12,01	1,13	4,09	0,06	2,49	
Stdev	44,03	19,73	93,11	58,19	13,22	18,47	0,76	2,55	1,50	0,61	1,89	0,03	0,61	
Max	188	92	844	320	64,84	93,7	3,47	10,81	14,98	2,47	8,02	0,09	2,96	

Tabel LII-29 : Hasil Pengukuran Kualitas Air Limbah masuk ke Boezem dari Kali Purwodadi, tahun 2014

Waktu sampling, hari ke	Parameter												
	TSS, mg/L	VSS mg/L	TS mg/L	VTs mg/L	PV mg/L	COD mg/L	NO ₃ mg/L	NH ₃ mg/L	Ntotal mg/L	PO ₄ mg/L	P _{total} mg/L	Klorofil, mg/L	Surfaktan mg/L
1	168	52	848	396	47,40	66,37	1,06	9,89	10,12	1,19	1,02	0,07	2,642
2	68	32	864	340	56,12	78,08	0,69	10,23	11,20	0,98	2,61	0,13	-
3	72	52	796	240	44,49	58,56	0,91	12,05	11,27	1,41	6,89	0,01	-
4	120	24	568	236	24,14	33,18	0,99	1,99	10,73	0,95	6,91	0,01	-
5	132	76	588	228	53,21	64,42	0,84	9,15	9,66	1,38	4,79	0,09	2,340
6	76	36	588	156	47,40	56,61	1,74	3,32	14,10	1,02	6,81	0,06	-
7	56	48	760	132	53,21	72,22	1,54	5,39	10,00	0,99	4,79	0,10	-
8	84	56	572	212	44,54	57,60	1,50	6,25	10,04	1,12	4,45	0,04	-
9	96	40	192	176	64,84	87,84	1,27	4,11	13,36	2,16	6,38	0,01	-
10	72	52	176	104	53,21	63,44	1,04	5,53	11,28	2,01	4,79	0,09	2,648
Rerata	94,4	46,8	595,2	222	48,86	63,83	1,16	6,79	11,17	1,32	4,95	0,06	2,54
Stdev	35,14	14,61	245,7	90,28	10,64	14,59	0,34	3,35	1,48	0,44	1,95	0,04	0,18
Max	168	76	864	396	64,84	87,84	1,74	12,05	14,10	2,16	6,91	0,13	2,65
Min	56	24	176	104	24,14	33,18	0,69	1,99	9,65	0,95	1,02	0	2,3397

Tabel L-30: Hasil Pengukuran Kualitas Air Limbah pada *outlet* ke Boezem tahun 2014

Waktu	Parameter													
sampling,	TSS	VSS	TS	VTs	PV	COD	NO3	NH3	Ntotal	PO4	Ptotal	Klorofi	Surfaktan	
(hari ke)	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	l, mg/L	mg/L	
1	96	72	740	216	29,96	40,99	0,97	8,95	9,17	0,85	1,51	1,02	0,55	
2	64	60	560	248	6,70	19,52	0,77	8,59	11,12	1,23	2,16	1,34	-	
3	48	44	456	152	35,77	46,85	1,04	7,59	13,05	1,20	6,80	2,43	-	
4	72	32	404	120	3,79	19,52	0,91	3,77	11,04	0,77	4,93	1,56	-	
5	76	40	384	104	29,96	40,99	0,64	8,03	9,34	1,36	3,92	1,17	0,56	
6	128	36	556	172	27,05	31,23	1,29	3,63	9,96	1,23	4,93	1,55	-	
7	68	64	556	84	18,33	29,28	1,43	3,55	9,19	0,94	3,92	1,00	-	
8	76	24	464	176	26,73	34,27	1,12	5,91	10,63	1,30	4,04	2,42	-	
9	84	72	172	168	50,31	50,75	1,38	4,48	12,40	1,36	4,42	1,85	-	
10	64	36	352	328	38,68	29,28	1,69	4,63	10,35	2,72	3,74	1,51	0,55	
Rerata	77,6	49	386	189	33,51	35,89	1,41	4,65	10,64	1,58	4,03	1,70	0,47	
Stdev	8,87	22,72	165,26	101,58	13,97	10,18	0,23	0,97	1,33	0,78	0,29	0,60	0,35	
Max	84,00	72,00	556,00	328,00	50,31	50,75	1,69	5,91	12,40	2,72	4,42	2,42	1,02	
Min	64,00	24,00	172,00	84,00	18,33	29,28	1,12	3,55	9,19	0,94	3,74	1,00	0,09	

Tabel L-31: Hasil Pengukuran Hasil Suhu Air badan Badan Air Boezem Morokrembangan,2014.

Musim Kemarau				Musim Hujan			
Hari				Hari			
ke	Titik 3	titik 4	out let	ke	Titik 3	titik 4	out let
1	35,2	34,9	33,1	1	29,3	28,5	30,4
2	32,6	34,9	32,6	2	28,8	29,2	28,8
3	34,9	32,4	32,4	3	30,1	32,2	30,9
4	35,6	33,9	32,5	4	31	30,5	29,4
5	32,2	31,5	30,1	5	30,4	31,4	30,2
6	33,5	33,9	32,5	6	32,5	30,8	31,5
7	32,1	32,7	30,2	7	31	30,9	31,5
8	32,1	32,7	30,2	8	30,4	30,9	29,8
9	31,9	31,4	31,5	9	29,4	29,2	29,1
10	32	32,7	30,2	10	29,2	29,4	29,1
Rerata	33,21	33,1	31,53	rerata	30,21	30,3	30,07
Stdev	1,48	1,26	1,23	stdev	1,11	1,17	1,00
Min	31,9	31,4	30,1	Min	28,8	28,5	28,80
Max	35,6	34,9	33,1	Max	32,5	32,2	31,50

LAMPIRAN III

ANALISIS HASIL PENELITIAN SISTEM ALGA - BAKTERI UNTUK PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK INFLUEN BOEZEM MOROKREMBANGAN

I. Hasil Penelitian Pendahuluan

Tabel L-32 : Hasil pengukuran konsentrasi COD

Waktu Sampling , hari	Reaktor					
	Kontrol	Kontrol	COD, mg/L			
	Lumpur	Alga	100	200	400	800
0	100,0	130,0	140,0	157,4	162,8	202,0
1	21,2	90,2	132,5	130,0	160,1	121,0
2	25,8	105,0	100,5	58,5	41,2	108,6
3	50,4	113,1	99,4	107,1	24,4	8,1
4	10,2	60,5	19,2	76,3	30,6	37,8
5	40,4	118,2	120,0	107,5	171,0	120,8
6	8,6	77,3	58,4	36,8	48,2	48,6
7	60,0	150,1	221,5	178,2	196,0	176,5

Tabel L-33 : Pertambahan konsentrasi alga sebagai [klorofil-a, mg/L]

Waktu Sampling , hari	Reaktor					
	Kontrol	Kontrol	COD, mg/L			
	Lumpur	Alga	100	150	200	250
0	0,52	0,85	0,85	0,85	0,68	0,52
1	0,56	1,32	1,40	1,38	1,42	0,56
2	0,68	1,71	1,79	1,56	1,64	0,68
3	0,43	1,45	1,36	1,75	1,98	0,43
4	0,41	0,82	0,78	1,84	2,10	0,41
5	0,06	0,34	0,60	1,63	1,74	0,06
6	0,36	0,20	0,36	1,65	0,82	0,36
7	0,52	0,85	0,85	0,85	0,68	0,52

II. Hasil Penelitian Pengaruh Pencahayaannya dan Kedalaman Air pada kinerja HRAR

Tabel L-34 Data pengukuran konsentrasi COD (mg/L) dari percobaan proses *batch* dengan pencahayaannya alamiah

Kedalaman Air (Cm)	Sampling (hari ke)	Running ke					[rerata] (mg/L)	Standar Deviasi
		1	2	3	4	5		
25	0	115	139	131	61	123	113,8	30,842
	2	97	74	82	8	41	60,4	35,753
	4	98	32	41	25	33	45,8	29,727
40	0	115	139	98	139	36	105,4	42,489
	2	89	74	82	74	66	77	8,775
	4	80	8	65	8	57	43,6	33,531
60	0	115	147	90	61	106	103,8	31,697
	2	89	66	57	33	66	62,2	20,167
	4	86	49	41	25	90	58,2	28,578

Tabel L-35 Data pengukuran konsentrasi COD (mg/L) dari percobaan proses *batch* dengan penambahan pencahayaannya menjadi 24 Jam

Kedalaman Air (Cm)	Sampling (hari ke)	Running ke					[rerata] (mg/L)	Standar Deviasi
		1	2	3	4	5		
25	0	205	171	82	42	115	123	65,829
	2	195	123	62	28	74	96,4	64,794
	4	106	65	16	25	57	53,8	35,773
40	0	131	147	106	61	131	115,2	33,663
	2	57	106	49	25	106	68,6	36,115
	4	49	131	41	57	90	73,6	37,105
60	0	131	123	98	48	139	107,8	36,793
	2	81	81	57	46	82	69,4	16,802
	4	61	49	55	39	74	55,6	13,107

Tabel L-36 Data pengukuran konsentrasi MLSS (mg/L) dari percobaan proses *batch* dengan pencahayaan alamiah

Kedalaman Air (Cm)	Sampling (hari ke)	Running ke					[rerata] (mg/L)	Standar Deviasi
		1	2	3	4	5		
25	0	128	16	148	44	44	76,0	58,17
	2	116	128	88	160	24	103,2	51,26
	4	220	248	116	248	220	210,4	54,60
40	0	68	100	32	28	28	51,2	32,05
	2	56	142	56	132	28	82,8	50,90
	4	128	232	56	200	128	148,8	68,96
60	0	20	24	28	36	36	28,8	7,16
	2	12	148	20	92	36	61,6	57,52
	4	12	40	20	120	60	50,4	43,14

Tabel L-37 Data pengukuran konsentrasi MLSS (mg/L) dari percobaan proses *batch* dengan penambahan pencahayaan menjadi 24 Jam

Kedalaman Air (Cm)	Sampling (hari ke)	Running ke					[rerata] (mg/L)	Standar Deviasi
		1	2	3	4	5		
25	0	224	168	104	42	40	115,6	80,25
	2	156	152	104	28	92	106,4	52,20
	4	204	220	236	168	112	188	49,40
40	0	168	92	124	92	24	100	52,69
	2	72	240	100	168	32	122,4	82,35
	4	100	240	100	124	80	128,8	64,09
60	0	120	84	68	112	120	100,8	23,56
	2	132	90	71	120	134	109,4	27,75
	4	152	148	102	156	142	140	21,86

Tabel L-38 : Data pengukuran konsentrasi alga diukur sebagai klorofil-a, (mg/L) dari percobaan proses *batch* dengan pencahayaan alamiah

Kedalaman Air (Cm)	Sampling (hari ke)	Running ke					[rerata] (mg/L)	Standar Deviasi
		1	2	3	4	5		
25	0	0,276	0,246	0,230	0,282	0,217	0,250	0,028
	2	0,010	0,101	0,309	0,495	0,369	0,257	0,198
	4	0,540	0,304	0,482	0,580	0,405	0,462	0,110
40	0	0,127	0,497	0,216	0,210	0,161	0,242	0,147
	2	0,000	0,311	0,052	0,129	0,307	0,160	0,144
	4	0,380	0,365	0,310	0,361	0,419	0,367	0,039
60	0	0,160	0,351	0,141	0,416	0,138	0,241	0,132
	2	0,100	0,235	0,258	0,203	0,140	0,187	0,066
	4	0,460	0,279	0,416	0,440	0,173	0,354	0,123

Tabel L-39 Data pengukuran konsentrasi alga diukur sebagai klorofil-a (mg/L) percobaan proses *batch* dengan pencahayaan 24 Jam

Kedalaman Air (Cm)	Sampling (hari ke)	Running ke					[rerata] (mg/L)	Standar Deviasi
		1	2	3	4	5		
25	0	0,117	0,523	0,071	0,117	0,201	0,206	0,183
	2	0,005	0,178	0,121	0,147	0,248	0,140	0,089
	4	0,670	0,233	0,117	0,206	0,293	0,304	0,214
40	0	0,107	0,357	0,016	0,026	0,164	0,134	0,139
	2	0,005	0,087	0,093	0,058	0,089	0,066	0,037
	4	0,470	0,162	0,026	0,151	0,137	0,189	0,166
60	0	0,122	0,126	0,136	0,116	0,219	0,144	0,043
	2	0,220	0,197	0,135	0,180	0,158	0,178	0,033
	4	0,260	0,206	0,160	0,200	0,216	0,208	0,036

Tabel L-40 Data pengukuran konsentrasi P-PO₄ (mg/L) dari percobaan proses *batch* dengan pencahayaan alamiah

Kedalaman Air (Cm)	Sampling (hari ke)	Running ke					[rerata] (mg/L)	St. Dev
		1	2	3	4	5		
25	0	51,98	35,11	28,57	29,35	23,08	33,62	11,11
	2	11,81	26,33	17,51	25,95	8,02	17,92	8,23
	4	23,08	22,78	11,14	22,44	11,22	18,13	6,35
40	0	41,10	44,30	18,99	34,68	4,64	28,74	16,63
	2	20,68	34,77	8,44	10,34	14,77	17,80	10,59
	4	31,11	27,43	8,02	7,01	8,86	16,49	11,76
60	0	31,44	18,65	17,30	8,72	24,89	20,20	8,53
	2	29,50	14,85	10,76	9,92	15,82	16,17	7,87
	4	28,61	4,32	10,30	16,88	11,39	14,30	9,16

Tabel L-41 Data pengukuran konsentrasi P-PO₄ (mg/L) dari percobaan proses *batch* dengan penambahan pencahayaan 24 Jam

Kedalaman Air (cm)	Sampling (hari ke)	Running ke					[rerata] (mg/L)	St. Dev
		1	2	3	4	5		
25	0	40,51	27,17	34,00	23,53	31,65	29,09	4,66
	2	29,11	33,00	44,94	25,53	27,22	32,67	8,78
	4	35,95	15,44	30,04	18,27	25,27	22,26	6,63
40	0	38,57	34,94	26,58	22,08	28,17	30,07	6,62
	2	28,27	31,48	24,38	19,95	26,73	26,16	4,32
	4	34,39	15,02	21,10	13,14	25,06	21,74	8,52
60	0	29,54	27,93	76,37	31,94	32,07	39,57	20,64
	2	7,59	25,15	56,96	23,63	25,32	27,73	17,95
	4	18,14	22,74	41,94	19,49	25,15	25,49	9,60

Tabel L-42 Data pengukuran konsentrasi N-NH₃ (mg/L) dari percobaan proses *batch* dengan pencahayaan alamiah

Kedalaman Air (Cm)	Sampling (hari ke)	Running ke					[rerata] (mg/L)	St. Dev
		1	2	3	4	5		
25	0	19,98	25,11	18,57	29,35	18,08	22,22	4,87
	2	11,81	26,33	17,51	25,95	8,02	17,92	8,23
	4	10,08	12,78	11,14	15,44	7,22	11,33	3,06
40	0	41,10	44,30	18,99	34,68	14,64	30,74	13,27
	2	20,68	34,77	8,44	10,34	14,77	17,80	10,59
	4	31,11	27,43	8,02	7,01	8,86	16,49	11,76
60	0	31,44	18,65	17,30	8,72	24,89	20,20	8,53
	2	29,50	14,85	10,76	9,92	15,82	16,17	7,87
	4	28,61	4,32	10,30	16,88	11,39	14,30	9,16

Tabel L-43 Data pengukuran konsentrasi N-NH₃ (mg/L) dari percobaan proses *batch* dengan penambahan pencahayaan 24 Jam

Kedalaman Air (Cm)	Sampling (hari ke)	Running ke					[rerata] (mg/L)	St. Dev
		1	2	3	4	5		
25	0	40,51	17,17	34,00	23,53	31,65	26,59	7,72
	2	29,11	33,00	29,94	25,53	27,22	28,92	3,27
	4	30,95	15,44	30,04	18,27	25,27	22,26	6,63
40	0	31,86	34,94	26,58	22,08	28,17	28,73	4,94
	2	28,27	31,48	20,38	14,95	44,73	27,96	11,41
	4	34,39	15,02	18,10	11,14	25,06	20,74	9,18
60	0	29,54	17,93	26,37	24,94	32,07	26,17	5,37
	2	23,59	15,15	18,96	23,63	25,32	21,33	4,18
	4	21,14	13,74	18,94	19,49	25,15	19,69	4,12

Tabel L-44 Data pengukuran konsentrasi N-NO₃ (mg/L) dari percobaan proses *batch* dengan pencahayaan alamiah

Kedalaman Air (Cm)	Sampling (hari ke)	Running ke					[rerata] (mg/L)	St. Dev
		1	2	3	4	5		
25	0	9,17	8,38	8,20	11,19	9,88	9,36	1,22
	2	7,51	1,63	4,38	2,19	8,63	4,87	3,12
	4	4,52	10,88	8,25	1,25	7,13	6,41	3,68
40	0	7,77	13,68	5,63	8,84	11,81	9,55	3,21
	2	7,42	7,38	0,63	1,25	9,38	5,21	3,99
	4	3,75	8,25	5,13	9,25	8,25	6,93	2,36
60	0	10,99	13,00	15,75	10,63	8,56	11,79	2,72
	2	7,35	11,25	12,20	9,56	7,63	9,60	2,15
	4	6,17	8,50	11,25	8,75	6,50	8,23	2,04

Tabel L-45 Data pengukuran konsentrasi N-NO₃ (mg/L) dari percobaan proses *batch* dengan penambahan pencahayaan menjadi 24 Jam

Kedalaman Air (Cm)	Sampling (hari ke)	Running ke					[rerata] (mg/L)	St. Dev
		1	2	3	4	5		
25	0	19,87	22,75	15,63	10,34	11,25	15,97	5,66
	2	18,38	18,88	14,38	2,81	3,13	11,52	8,10
	4	16,19	18,38	11,13	2,38	10,63	11,74	6,54
40	0	8,35	5,00	8,25	9,03	3,01	6,73	2,60
	2	7,34	1,88	7,50	3,13	5,94	5,16	2,54
	4	6,58	3,85	5,88	6,88	2,19	5,08	2,00
60	0	7,64	16,56	15,00	14,66	16,25	14,02	3,66
	2	6,94	12,46	9,69	15,63	2,81	9,51	4,94
	4	3,32	12,49	12,88	12,38	12,63	10,74	4,15

Tabel L-46 : Efek waktu pencahayaan dan kedalaman air pada kinerja HRAR proses *batch* untuk penurunan COD

Sampling, hari ke	Kedalaman Air , Cm		Keterangan
	25	40	
0	113,80 ± 30,84	105,40 ± 42,49	Pencahayaan Alamiah (12 jam)
2	60,40 ± 35,75	77,00 ± 8,77	
4	45,80 ± 29,73	43,60 ± 33,53	
	59,80%	58,60%	Efisiensi penyisihan
0	123,00 ± 65,82	115,2 ± 33,66	Penambahan pencahayaan (24 jam)
2	96,40 ± 64,79	68,60 ± 36,12	
4	53,80 ± 35,77	73,60 ± 37,11	
	56,26%	36,11%	Efisiensi penyisihan

Tabel L-47 Perubahan konsentrasi Nilai rerata perubahan konsentrasi MLSS, mg/L percobaan secara proses *batch*

Sampling, hari ke	Kedalaman Air , Cm			Keterangan
	25	40	60	
0	76,00 ± 58,17	51,2 ± 32,05	28,80 ± 7,16	Pencahayaan Alamiah (12 jam)
2	103,20 ± 51,26	82,80 ± 50,90	61,60 ± 57,52	
4	210,40 ± 54,60	148,80 ± 68,96	50,40 ± 43,14	
	176,84%	190,63%	75,00%	Efisiensi penyisihan
0	115,60 ± 80,25	100,00 ± 52,69	100,80 ± 23,56	Penambahan pencahayaan (24 jam)
2	106,40 ± 52,20	122,40 ± 82,35	109,40 ± 27,75	
4	188,00 ± 39,47	128,80 ± 64,09	140,00 ± 21,86	
	38,93%	28,80%	38,89%	Efisiensi penyisihan

Tabel L-48: Nilai rerata perubahan konsentrasi alga diukur sebagai klorofil-a, mg/L dengan percobaan secara proses *batch*

Sampling, hari ke	Kedalaman Air , Cm			Keterangan
	25	40	60	
0	0,250 ± 0,028	0,242 ± 0,147	0,241 ± 0,132	
2	0,257 ± 0,198	0,160 ± 0,144	0,187 ± 0,066	Pencahaya- an 12 jam Efisiensi penyisihan
4	0,462 ± 0,111	0,367 ± 0,039	0,354 ± 0,123	
	84,7%	51,5%	47,6%	
0	0,205 ± 0,183	0,134 ± 0,139	0,144 ± 0,044	
2	0,140 ± 0,089	0,066 ± 0,037	0,178 ± 0,033	pencahaya- an 24 jam
4	0,304 ± 0,214	0,189 ± 0,166	0,208 ± 0,036	
Efisiensi penyisihan	47,6%	41,2%	44,9%	

III. Hasil Penelitian Pengaruh waktu aerasi Pada Kinerja HRAR

Tabel L-49 : Hasil penelitian pada HRAR Kontrol

Parameter	hari ke	Percobaan ke					Rerata	Stdev
		1	2	3	4	5		
COD (mg/L)	0	254	171	114	53	77	133,7	80,6
	2	221	115	97	42	41	103,4	73,6
	4	156	114	89	36	46	88,1	49,3
MLSS (mg/L)	0	240	240	276	184	84	204,8	75,12
	2	296	292	292	220	120	244	76,26
	4	308	298	328	276	144	270,8	73,32
N-NH ₃	0	0,87	0,96	1,12	1,45	2,75	1,43	0,77
	2	0,42	0,71	0,69	0,48	1,83	0,83	0,58
	4	0,02	0,44	0,52	0,39	1,35	0,54	0,49
N-NO ₃ (mg/L)	0	0,74	0,83	1,23	1,23	4	1,61	1,36
	2	0,68	0,78	0,93	1,14	3,04	1,31	0,98
	4	0,65	0,77	0,86	0,03	2,51	0,96	0,92
P-PO ₄ (mg/L)	0	0,58	1,69	2,97	1,26	1,54	1,61	0,87
	2	0,47	1,62	2,12	1,06	1,38	1,33	0,62
	4	0,16	1,13	1,88	0,55	0,94	0,93	0,65
klor-a (mg/L)	0	0,27	0,77	0,25	0,55	0,23	0,42	0,24
	2	1,18	1,28	1,53	0,92	0,94	1,17	0,25
	4	1,42	1,38	1,61	2,45	1,09	1,59	0,51
DO (mg/L)	0	3,00	2,10	3,00	2,00	5,40	3,10	1,37
	2	2,50	3,20	2,80	1,50	5,40	3,08	1,44
	4	2,30	3,40	5,10	5,40	4,30	4,10	1,27
CO ₂ (mg/L)	0	17,60	8,80	52,80	17,60	22,0	23,76	16,93
	2	26,40	17,60	22,00	17,60	13,2	19,36	5,02
	4	4,40	8,80	17,60	13,20	13,2	11,44	5,02

Tabel L-50 Hasil penelitian HRAR dengan Perlakuan Aerasi 12 Jam di Malam hari

Parameter	hari ke	Percobaan ke					Rerata	Stdev
		1	2	3	4	5		
COD (mg/L)	0	197	154	171	130	163	162,95	24,26
	2	140	114	97	41	94	97,21	36,42
	4	82	97	65	57	56	71,49	17,84
MLSS (mg/L)	0	156	152	184	100	180	154,4	33,54
	2	185	164	220	164	208	188,2	25,42
	4	240	192	232	280	272	243,2	35,15
N-NH ₃ (mg/L)	0	1,29	1,69	1,55	3,05	2,36	1,99	0,71
	2	0,83	0,45	0,68	2,98	1,49	1,29	1,02
	4	0,81	0,41	0,24	0,42	1,13	0,60	0,36
N-NO ₃ (mg/L)	0	1,72	1,83	1,91	3,13	2,00	2,12	0,58
	2	0,82	0,80	1,41	2,67	1,57	1,45	0,76
	4	0,56	0,26	0,91	1,01	1,03	0,75	0,33
P-PO ₄ (mg/L)	0	1,94	1,37	3,84	2,50	3,82	2,69	1,11
	2	1,57	1,11	2,49	2,28	2,70	2,03	0,67
	4	1,11	1,06	1,99	1,85	2,26	1,65	0,54
Chlo-a (mg/L)	0	0,89	1,24	1,45	1,51	1,20	1,26	0,24
	2	1,16	1,86	1,97	1,82	1,61	1,68	0,32
	4	1,26	1,98	2,11	2,01	1,94	1,86	0,34
DO (mg/L)	0	3,20	3,50	5,30	5,10	4,40	4,30	0,94
	2	5,20	5,20	5,80	5,80	4,00	5,20	0,73
	4	5,30	4,60	5,60	7,10	4,00	5,32	1,17
CO ₂ (mg/L)	0	13,20	39,60	10,00	4,40	13,20	16,08	13,63
	2	4,40	8,80	13,20	17,60	0	13,20	6,96
	4	8,80	26,40	30,80	13,20	0	22,00	10,32

Tabel L-51 : Hasil penelitian HRAR dengan Perlakuan Aerasi selama 24 Jam

Parameter	hari ke	Percobaan ke					Rerata	Stdev
		1	2	3	4	5		
COD (mg/L)	0	184	144,46	187	138	182	167,01	23,68
	2	156	131,07	160	65	106	123,43	39,25
	4	63	64,97	84	32	61	61,14	18,37
MLSS (mg/L)	0	183	164,00	180	104	119	150,00	36,27
	2	220	198,00	251	148	240	211,40	40,80
	4	347	236,00	364	262	304	302,60	54,38
N-NH ₃ (mg/L)	0	1,74	1,08	1,55	1,12	2,49	1,60	0,57
	2	0,48	0,52	0,54	0,33	2,15	0,80	0,76
	4	0,06	0,36	0,24	0,25	1,38	0,46	0,53
N-NO ₃ (mg/L)	0	0,84	0,97	0,85	1,07	0,91	0,93	0,09
	2	0,50	0,86	0,47	0,62	0,95	0,68	0,22
	4	0,31	0,21	0,36	0,31	0,45	0,33	0,09
P-PO ₄ (mg/L)	0	1,11	0,84	1,7	1,24	1,91	1,36	0,44
	2	0,81	0,70	1,21	1,17	0,95	0,97	0,22
	4	0,01	0,00	0,41	0,69	0,19	0,26	0,29
Chlo-a (mg/L)	0	0,65	0,56	1,248	2,075	0,156	0,94	0,75
	2	1,32	0,94	1,248	2,283	0,254	1,21	0,73
	4	2,15	1,74	1,557	2,587	0,426	1,69	0,81
DO (mg/L)	0	3,90	4,70	4,00	4,60	3,70	4,18	0,44
	2	4,50	3,40	4,70	4,50	5,00	4,42	0,61
	4	6,60	4,50	5,00	3,40	5,70	5,04	1,21
CO ₂ (mg/L)	0	17,60	13,20	13,20	17,60	17,60	15,84	2,41
	2	13,20	39,60	20,00	13,20	48,40	26,88	16,18
	4	17,00	13,20	30,80	17,60	17,60	19,24	6,72

Tabel L-52 : Resume hasil Penelitian Pengaruh Aerasi pada sistemHRAR proses *batch* dengan lima Kali ulangan percobaan

Perlakuan Aerasi	Sampling , hari ke	COD,mg/L	MLSS, mg/L	N-NH ₃ , mg/L	N-NO ₃ , mg/L	P-PO ₄ , mg/L	Klorofil-a, mg/L	DO, mg/L	CO ₂ , mg/L
Kontrol	0	133,65 ± 73,57	204,8 ± 75,12	1,43 ± 0,77	1,61 ± 1,36	1,61 ± 0,87	0,42 ± 0,24	3,1 ± 1,37	23,76 ± 16,93
	2	103,35 ± 73,57	244 ± 76,26	0,83 ± 0,58	1,31 ± 0,98	1,33 ± 0,62	1,17 ± 0,25	3,08 ± 1,44	19,36 ± 5,02
	4	88,12 ± 49,28	270,8 ± 73,3	0,54 ± 0,49	0,96 ± 0,92	0,93 ± 0,65	1,59 ± 0,51	4,1 ± 1,27	11,44 ± 5,02
12 Jam, malam hari	0	162,95 ± 24,26	154,4 ± 33,53	1,988 ± 0,71	2,12 ± 0,58	2,7 ± 1,1	1,26 ± 0,24	4,3 ± 0,94	16,08 ± 13,63
	2	97,21 ± 36,42	188,2 ± 25,42	1,286 ± 1,02	1,45 ± 0,76	2,03 ± 0,67	1,68 ± 0,32	5,2 ± 0,73	13,20 ± 6,95
	4	71,49 ± 17,84	243,2 ± 35,15	0,602 ± 0,36	0,75 ± 0,33	1,65 ± 0,54	1,86 ± 0,34	5,32 ± 1,17	22,00 ± 10,31
24 Jam, malam hari	0	167,01 ± 23,68	150 ± 36,27	1,60 ± 0,57	0,93 ± 0,95	1,36 ± 0,44	0,94 ± 0,75	4,18 ± 0,44	15,84 ± 2,41
	2	123,43 ± 39,25	211,4 ± 40,8	0,80 ± 0,76	0,68 ± 0,21	0,97 ± 0,22	1,21 ± 0,73	4,42 ± 0,61	26,88 ± 16,17
	4	61,14 ± 18,37	302,6 ± 54,38	0,46 ± 0,53	0,33 ± 0,08	0,26 ± 0,29	1,70 ± 0,81	5,04 ± 1,21	19,24 ± 6,70

IV. Hasil Penelitian sistem HRAR Proses Batch pada kondisi salinitas, pH badan air Boezem Morokrembangan

Tabel L-53 : Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 4,5 dan salinitas 0,8 ppt, Running ke 1

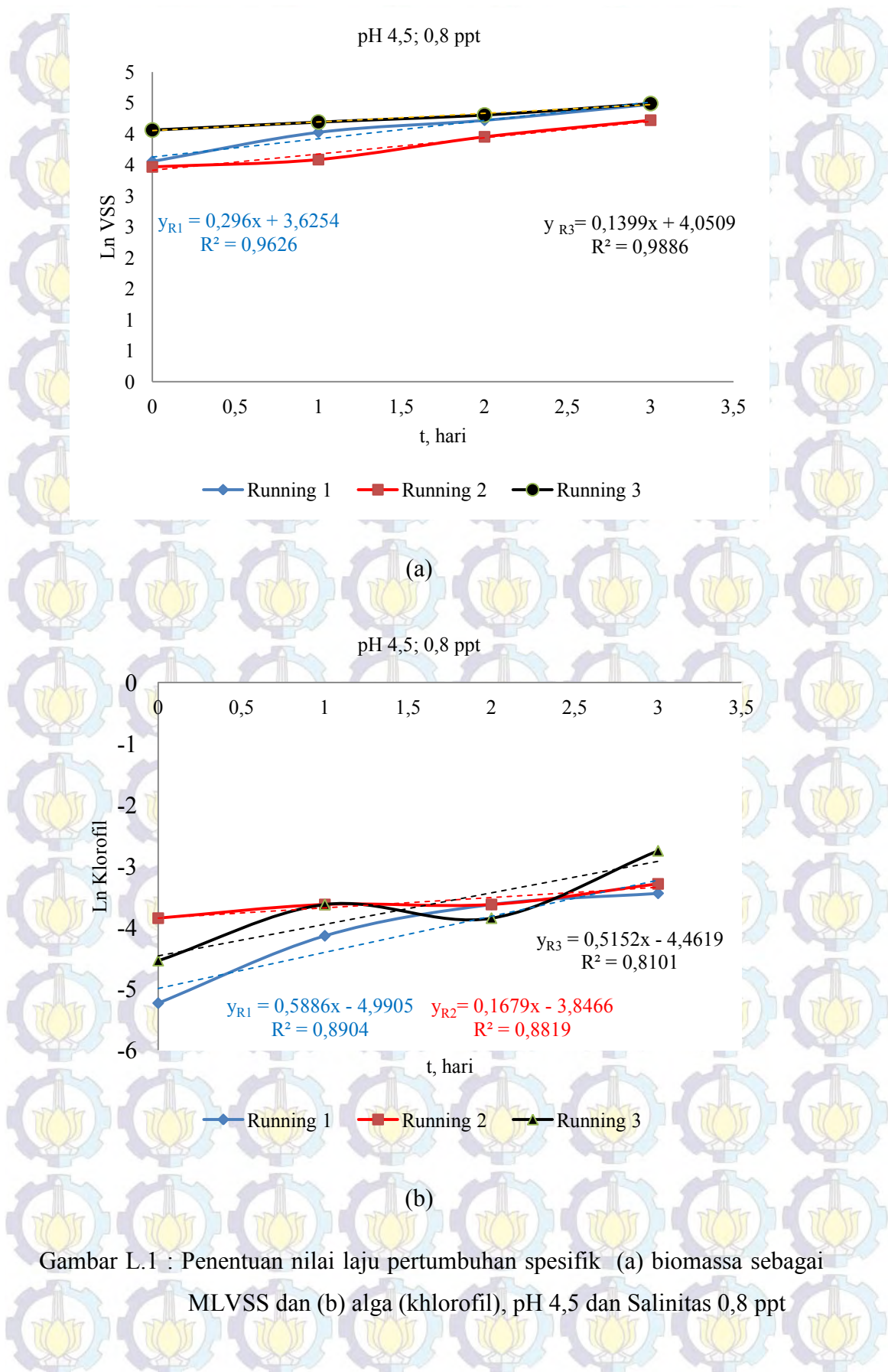
Hari ke-	COD (mg/L)	VSS (mg/L)	Klorofil a (mg/L)	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	COD (So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	232,0	35	0,005	3,56	-5,233				
1	200,0	56	0,016	4,03	-4,134	32,0	56	0,0160	0,0550
2	107,2	68	0,027	4,22	-3,623	124,8	68	0,0267	0,1026
3	92,8	88	0,032	4,48	-3,441	139,2	88	0,0320	0,1185
4	84,8	76	0,037	4,33	-3,287	147,2	152	0,0748	0,1297
7	68,8	56	0,059	4,03	-2,835	163,2	168	0,1762	0,1599
8	67,2	48	0,064	3,87	-2,748	164,8	48	0,0641	0,1637
9	97,6	40	0,069	3,69	-2,668	134,4	40	0,0694	0,1127
10	86,5	36	0,048	3,58	-3,035	145,5	36	0,0481	0,1271
11	89,6	32	0,011	3,47	-4,539	142,4	32	0,0107	0,1228
14	85,5	32	0,016	3,47	-4,134	146,5	96	0,0481	0,1287

Tabel L-54 :Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 4,5 dan salinitas 0,8 ppt, Running ke 2

Hari ke-	COD (mg/L)	VSS (mg/L)	Klorofil a (mg/L)	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	COD (So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	179	32	0,021	3,47	-3,846				
1	119	36	0,027	3,58	-3,623	60,2	36	0,027	0,008
2	165	52	0,027	3,95	-3,623	14,2	52	0,027	0,006
3	138	68	0,037	4,22	-3,287	41,9	68	0,037	0,007
4	87	28	0,043	3,33	-3,153	92,8	28	0,043	0,012
5	113	20	0,064	3,00	-2,748	66,5	20	0,064	0,009
8	125	24	0,080	3,18	-2,524	54,9	72	0,240	0,008
9	106	16	0,075	2,77	-2,593	73,1	16	0,075	0,009
10	113	12	0,069	2,48	-2,668	66,3	12	0,069	0,009
11	106	16	0,048	2,77	-3,035	73,1	16	0,048	0,009
12	113	12	0,032	2,48	-3,441	66,3	12	0,032	0,009

Tabel L-55 : Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 4,5 dan salinitas 0,8 ppt, Running ke 3

Hari ke-	COD, mg/L	VSS, mg/L	Klorofil a, mg/L	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	COD (So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	75,5	58	0,011	4,06	-4,539				
1	81,1	66	0,027	4,19	-3,623	-5,6	66	0,0267	0,0123
2	84,4	74	0,021	4,30	-3,846	-8,9	74	0,02136	0,0118
3	60,8	89	0,064	4,49	-2,748	14,7	89	0,06408	0,0164
6	69,0	68	0,059	4,22	-2,835	6,5	204	0,17622	0,0145
7	78,9	72	0,096	4,28	-2,342	-3,4	72	0,09612	0,0127
8	84,4	64	0,064	4,16	-2,748	-8,9	64	0,06408	0,0118
10	60,8	56	0,053	4,03	-2,930	14,7	112	0,1068	0,0164
13	69,0	68	0,043	4,22	-3,153	6,5	204	0,12816	0,0145
14	78,9	72	0,016	4,28	-4,134	-3,4	72	0,01602	0,0127



Gambar L.1 : Penentuan nilai laju pertumbuhan spesifik (a) biomassa sebagai MLVSS dan (b) alga (klorofil), pH 4,5 dan Salinitas 0,8 ppt

Tabel L-56 : Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 6 dan salinitas 0,8 ppt, Running ke 1

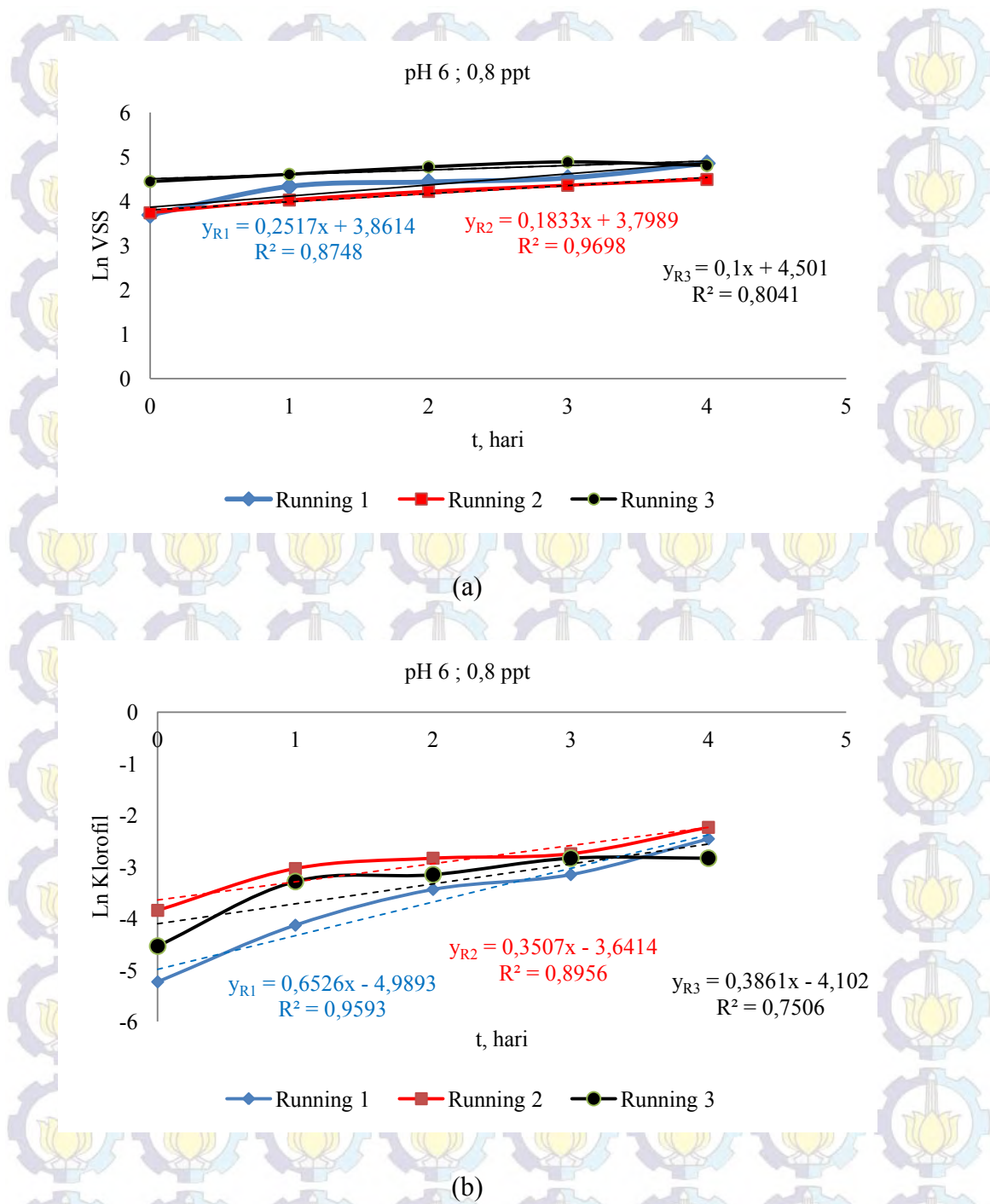
Hari ke-	COD, mg/L	VSS, mg/L	Klorofil a, mg/L	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	(So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	232,0	40	0,005	3,69	-5,233				
1	158,4	76	0,016	4,33	-4,134	73,6	76	0,01602	0,0063
2	144,0	84	0,032	4,43	-3,441	88,0	84	0,03204	0,0069
3	136,0	92	0,043	4,52	-3,153	96,0	92	0,04272	0,0074
4	123,2	128	0,085	4,85	-2,460	108,8	256	0,17088	0,0081
7	118,4	124	0,048	4,82	-3,035	113,6	372	0,14418	0,0084
8	102,4	104	0,048	4,64	-3,035	129,6	104	0,04806	0,0098
9	104,0	112	0,059	4,72	-2,835	128,0	112	0,05874	0,0096
10	95,7	104	0,053	4,64	-2,930	136,3	104	0,0534	0,0105
11	86,5	104	0,053	4,64	-2,930	145,5	104	0,0534	0,0116
14	64,5	96	0,048	4,56	-3,035	167,5	288	0,14418	0,0155

Tabel L-57 : Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 6 dan salinitas 0,8 ppt, Running ke 2

Hari ke-	COD, mg/L	VSS, mg/L	Klorofil a, mg/L	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	COD (So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	143,6	42	0,021	3,74	-3,846				
1	109,2	56	0,048	4,03	-3,035	34,3	56	0,04806	0,0092
2	146,6	68	0,059	4,22	-2,835	-3,0	68	0,05874	0,0068
3	115,5	78	0,064	4,36	-2,748	28,0	78	0,06408	0,0087
4	89,4	89	0,107	4,49	-2,237	54,2	89	0,1068	0,0112
5	108,0	148	0,117	5,00	-2,141	35,6	148	0,11748	0,0093
8	151,1	100	0,107	4,61	-2,237	-7,6	300	0,3204	0,0066
9	101,3	104	0,101	4,64	-2,288	42,2	104	0,10146	0,0099
10	108,3	108	0,096	4,68	-2,342	35,3	108	0,09612	0,0092
11	101,3	104	0,101	4,64	-2,288	42,2	104	0,10146	0,0099
12	108,3	108	0,117	4,68	-2,141	35,3	108	0,11748	0,0092

Tabel L-58 : Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 6 dan salinitas 0,8 ppt, Running ke 3

Hari ke-	COD, mg/L	VSS, mg/L	Klorofil a, mg/L	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	COD (So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	143,0	85	0,011	4,44	-4,539				
1	130,8	100	0,037	4,61	-3,287	12,3	100	0,03738	0,0076
2	114,2	118	0,043	4,77	-3,153	28,8	118	0,04272	0,0088
3	85,5	132	0,059	4,88	-2,835	57,6	132	0,05874	0,0117
6	82,2	122	0,059	4,80	-2,835	60,9	366	0,17622	0,0122
7	92,1	112	0,064	4,72	-2,748	51,0	112	0,06408	0,0109
8	114,2	92	0,144	4,52	-1,937	28,8	92	0,14418	0,0088
10	85,5	100	0,085	4,61	-2,460	57,6	200	0,17088	0,0117
13	82,2	112	0,059	4,72	-2,835	60,9	336	0,17622	0,0122
14	92,1	112	0,048	4,72	-3,035	51,0	112	0,04806	0,0109



Gambar L.2 : Penentuan nilai Laju pertumbuhan spesifik biomassa, (a) sebagai MLVSS dan (b) alga (klorofil), pH 6 dan Salinitas 0,8 ppt

Tabel L-59 : Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 9 dan salinitas 0,8 ppt, Running ke 1

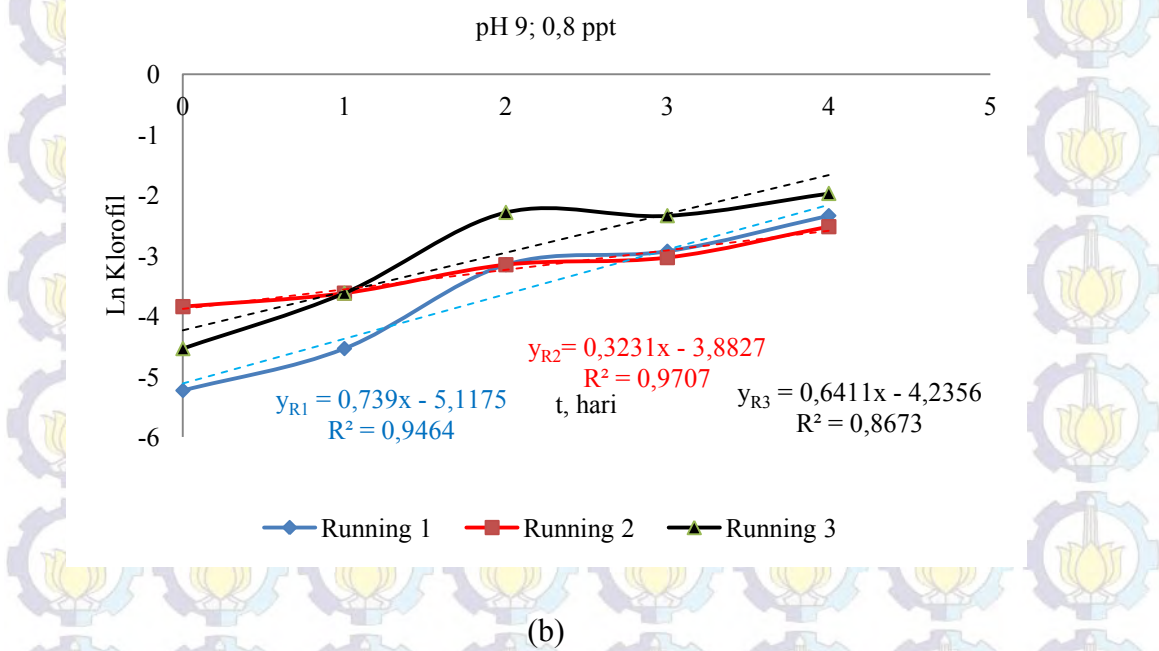
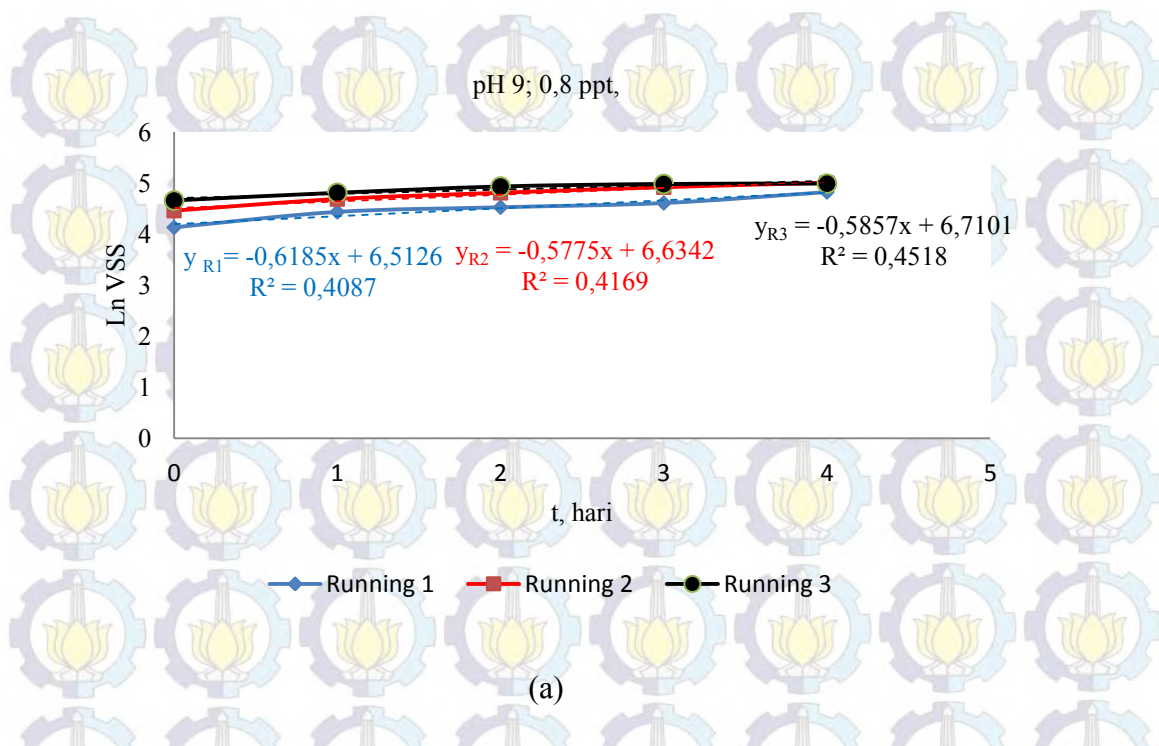
Hari ke-	COD, mg/L	VSS, mg/L	Klorofil a, mg/L	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	COD (So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	232	62	0,005	4,13	-5,233				
1	142	84	0,011	4,43	-4,539	89,60	84	0,01	0,007
2	117	92	0,043	4,52	-3,153	115,20	92	0,04	0,009
3	86	100	0,053	4,61	-2,930	145,60	100	0,05	0,012
4	80	124	0,096	4,82	-2,342	152,00	248	0,19	0,013
7	96	132	0,075	4,88	-2,593	136,00	396	0,22	0,010
8	85	152	0,069	5,02	-2,668	147,20	152	0,07	0,012
9	82	156	0,064	5,05	-2,748	150,40	156	0,06	0,012
10	94	144	0,069	4,97	-2,668	137,90	144	0,07	0,011
11	97	140	0,075	4,94	-2,593	134,80	140	0,07	0,010
14	66	140	0,080	4,94	-2,524	166,00	420	0,24	0,015

Tabel L-60 : Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 9 dan salinitas 0,8 ppt, Running ke 2

Hari ke-	COD, mg/L	VSS, mg/L	Klorofil a, mg/L	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	COD (So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	122,6	86	0,021	4,45	-3,846				
1	70,4	108	0,027	4,68	-3,623	52,2	108,0	0,027	0,014
2	80,5	122	0,043	4,80	-3,153	42,1	122,0	0,043	0,012
3	61,9	136	0,048	4,91	-3,035	60,7	136,0	0,048	0,016
4	52,3	148	0,080	5,00	-2,524	70,4	148,0	0,080	0,019
5	68,1	148	0,101	5,00	-2,288	54,5	148,0	0,101	0,015
8	78,1	128	0,091	4,85	-2,399	44,6	384,0	0,272	0,013
9	66,4	132	0,096	4,88	-2,342	56,2	132,0	0,096	0,015
10	77,6	140	0,080	4,94	-2,524	45,0	140,0	0,080	0,013
11	66,4	132	0,085	4,88	-2,460	56,2	132,0	0,085	0,015
12	77,6	140	0,085	4,94	-2,460	45,0	140,0	0,085	0,013

Tabel L-61: Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 9 dan salinitas 0,8 ppt, Running ke 3

Hari ke-	COD, mg/L	VSS, mg/L	Klorofil a, mg/L	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	COD (So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	127	105	0,011	4,65	-4,539				
1	104	122	0,027	4,80	-3,623	22,9	122	0,027	0,010
2	94	138	0,101	4,93	-2,288	32,8	138	0,101	0,011
3	64	145	0,096	4,98	-2,342	63,0	145	0,096	0,016
6	82	120	0,139	4,79	-1,974	45,0	360	0,417	0,012
7	77	104	0,096	4,64	-2,342	49,9	104	0,096	0,013
8	94	112	0,117	4,72	-2,141	32,8	112	0,117	0,011
10	64	100	0,112	4,61	-2,188	63,0	200	0,224	0,016
13	82	120	0,085	4,79	-2,460	45,0	360	0,256	0,012
14	77	104	0,059	4,64	-2,835	49,9	104	0,059	0,013



Gambar L.3: Penentuan nilai Laju pertumbuhan spesifik biomassa sebagai (a) MLVSS dan (b) alga pH 9 dan salinitas 0,8 ppt

Tabel L-62: Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 4,5 dan salinitas 1,5 ppt, Running ke 1

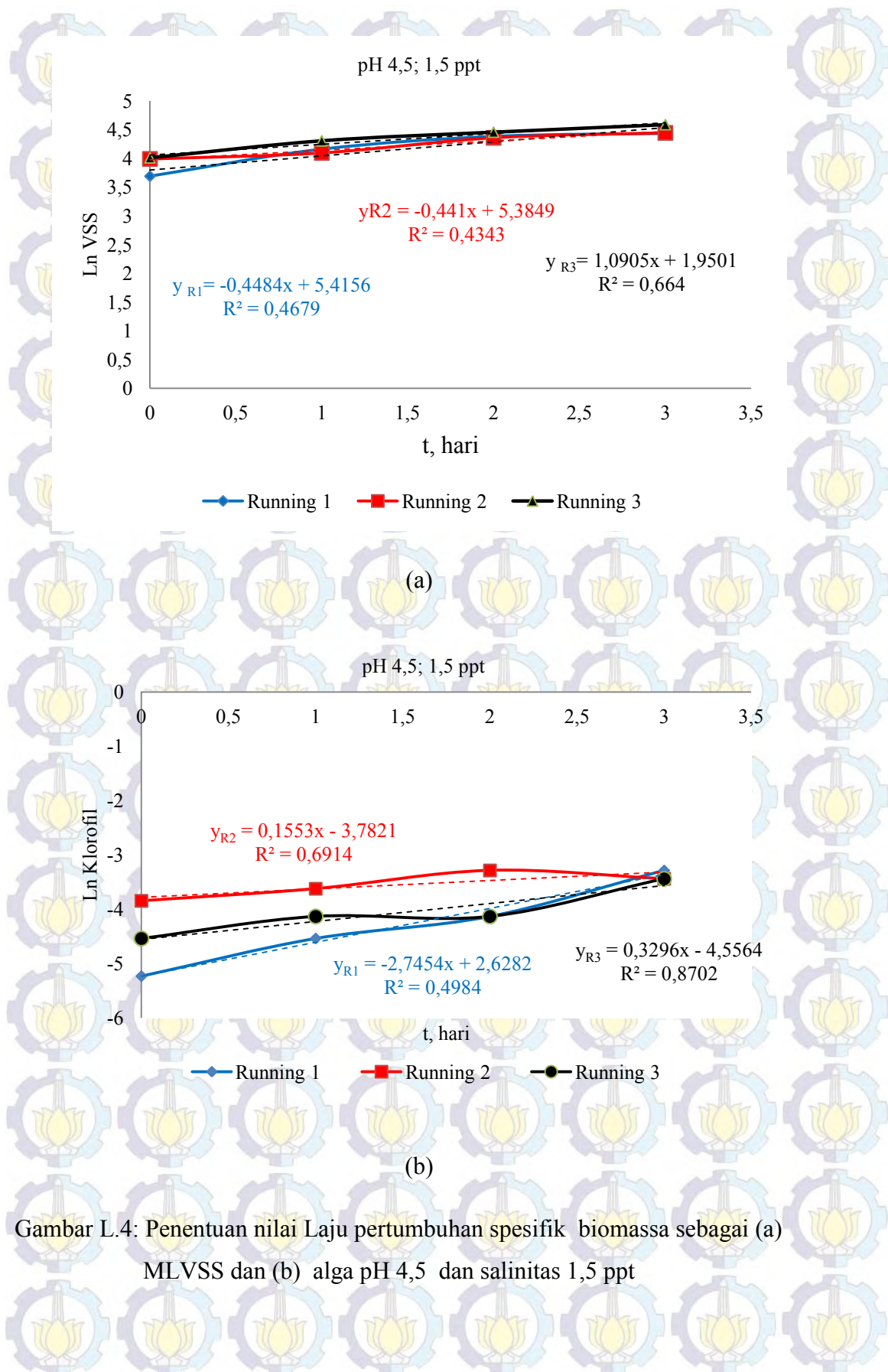
Hari ke-	COD, mg/L	VSS, mg/L	Klorofil a, mg/L	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	COD (So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	232	40	0,005	3,69	-5,233				
1	192	64	0,011	4,16	-4,539	40,0	64	0,011	0,005
2	112	80	0,016	4,38	-4,134	120,0	80	0,016	0,009
3	96	84	0,037	4,43	-3,287	136,0	84	0,037	0,010
4	77	92	0,048	4,52	-3,035	155,2	184	0,096	0,013
7	78	76	0,053	4,33	-2,930	153,6	228	0,160	0,013
8	74	88	0,059	4,48	-2,835	158,4	88	0,059	0,014
9	112	56	0,037	4,03	-3,287	120,0	56	0,037	0,009
10	108	52	0,032	3,95	-3,441	124,2	52	0,032	0,009
11	85	48	0,037	3,87	-3,287	147,0	48	0,037	0,012
14	86	56	0,021	4,03	-3,846	146,5	168	0,064	0,012

Tabel L-63: Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 4,5 dan salinitas 1,5 ppt, Running ke 2

Hari ke-	COD, mg/L	VSS, mg/L	Klorofil a, mg/L	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	COD (So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	187	54	0,021	3,99	-3,846				
1	142	60	0,027	4,09	-3,623	44,6	60	0,027	0,007
2	134	78	0,037	4,36	-3,287	53,3	78	0,037	0,008
3	113	85	0,032	4,44	-3,441	74,1	85	0,032	0,009
4	103	32	0,069	3,47	-2,668	83,8	32	0,069	0,010
5	78	24	0,043	3,18	-3,153	108,9	24	0,043	0,013
8	115	16	0,021	2,77	-3,846	72,3	48	0,064	0,009
9	96	16	0,021	2,77	-3,846	90,6	16	0,021	0,010
10	107	12	0,032	2,48	-3,441	80,3	12	0,032	0,009
11	96	16	0,043	2,77	-3,153	90,6	16	0,043	0,010
12	107	12	0,037	2,48	-3,287	80,3	12	0,037	0,009

Tabel L-64: Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 4,5 dan salinitas 1,5 ppt, Running ke 3

Hari ke-	COD, mg/L	VSS, mg/L	Klorofil a, mg/L	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	COD (So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	111	55	0,011	4,01	-4,539				
1	75	74	0,016	4,30	-4,134	36,80	74	0,016	0,013
2	91	86	0,016	4,45	-4,134	20,20	86	0,016	0,011
3	84	98	0,032	4,58	-3,441	27,40	98	0,032	0,012
6	113	76	0,064	4,33	-2,748	-2,20	228	0,192	0,009
7	118	72	0,053	4,28	-2,930	-7,10	72	0,053	0,008
8	91	64	0,048	4,16	-3,035	20,20	64	0,048	0,011
10	84	68	0,059	4,22	-2,835	27,40	136	0,117	0,012
13	113	76	0,032	4,33	-3,441	-2,20	228	0,096	0,009
14	118	72	0,027	4,28	-3,623	-7,10	72	0,027	0,008



Gambar L.4: Penentuan nilai Laju pertumbuhan spesifik biomassa sebagai (a) MLVSS dan (b) alga pH 4,5 dan salinitas 1,5 ppt

Tabel L-65 Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 6,0 dan salinitas 1,5 ppt, Running ke 1

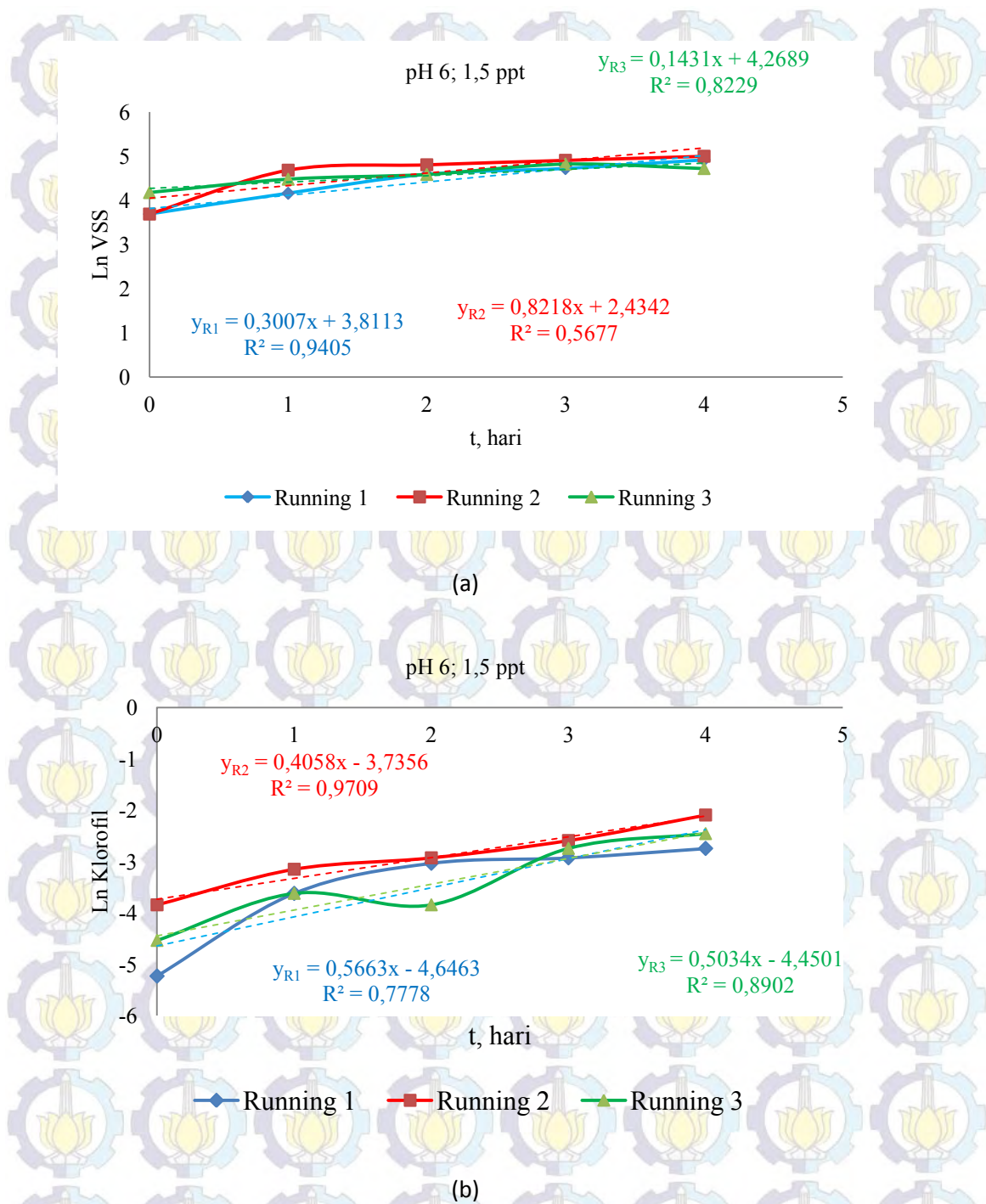
Hari ke-	COD, mg/L	VSS, mg/L	Klorofil a, mg/L	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	COD (So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	232	40	0,005	3,69	-5,233				
1	93	64	0,027	4,16	-3,623	139,2	64	0,027	0,011
2	107	98	0,048	4,58	-3,035	124,8	98	0,048	0,009
3	104	112	0,053	4,72	-2,930	128,0	112	0,053	0,010
4	83	136	0,064	4,91	-2,748	148,8	272	0,128	0,012
7	50	112	0,075	4,72	-2,593	182,4	336	0,224	0,020
8	66	108	0,117	4,68	-2,141	166,4	108	0,117	0,015
9	83	100	0,096	4,61	-2,342	148,8	100	0,096	0,012
10	93	96	0,080	4,56	-2,524	139,4	96	0,080	0,011
11	62	92	0,075	4,52	-2,593	169,7	92	0,075	0,016
14	60	92	0,064	4,52	-2,748	172,0	276	0,192	0,017

Tabel L-66: Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 6,0 dan salinitas 1,5 ppt, Running ke 2

Hari ke-	COD, mg/L	VSS, mg/L	Klorofil a, mg/L	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	COD (So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	111	40	0,021	3,69	-3,846				
1	142	108	0,043	4,68	-3,153	-31,60	108	0,043	0,007
2	150	122	0,053	4,80	-2,930	-38,80	122	0,053	0,007
3	88	135	0,075	4,91	-2,593	22,60	135	0,075	0,011
4	105	148	0,123	5,00	-2,097	6,10	148	0,123	0,010
5	88	144	0,096	4,97	-2,342	22,60	144	0,096	0,011
8	113	128	0,096	4,85	-2,342	-2,30	384	0,288	0,009
9	108	116	0,107	4,75	-2,237	2,70	116	0,107	0,009
10	107	128	0,085	4,85	-2,460	4,00	128	0,085	0,009
11	108	116	0,096	4,75	-2,342	2,70	116	0,096	0,009
12	107	128	0,107	4,85	-2,237	4,00	128	0,107	0,009

Tabel L-67: Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 6,0 dan salinitas 1,5 ppt, Running ke 3

Hari ke-	COD, mg/L	VSS, mg/L	Klorofil a, mg/L	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	COD (So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	135	65	0,011	4,17	-4,539				
1	111	88	0,027	4,48	-3,623	24,2	88	0,027	0,009
2	106	98	0,021	4,58	-3,846	29,2	98	0,021	0,009
3	77	124	0,064	4,82	-2,748	57,8	124	0,064	0,013
6	86	112	0,085	4,72	-2,460	49,6	336	0,256	0,012
7	123	116	0,048	4,75	-3,035	11,8	116	0,048	0,008
8	106	76	0,053	4,33	-2,930	29,2	76	0,053	0,009
10	77	88	0,064	4,48	-2,748	57,8	176	0,128	0,013
13	86	112	0,069	4,72	-2,668	49,6	336	0,208	0,012
14	123	116	0,048	4,75	-3,035	11,8	116	0,048	0,008



Gambar L.5: Penentuan nilai Laju pertumbuhan spesifik biomassa sebagai (a) MLVSS dan (b) alga pH 6 dan salinitas 1,5 ppt

Tabel L-68: Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 9,0 dan salinitas 1,5 ppt, Running ke 1

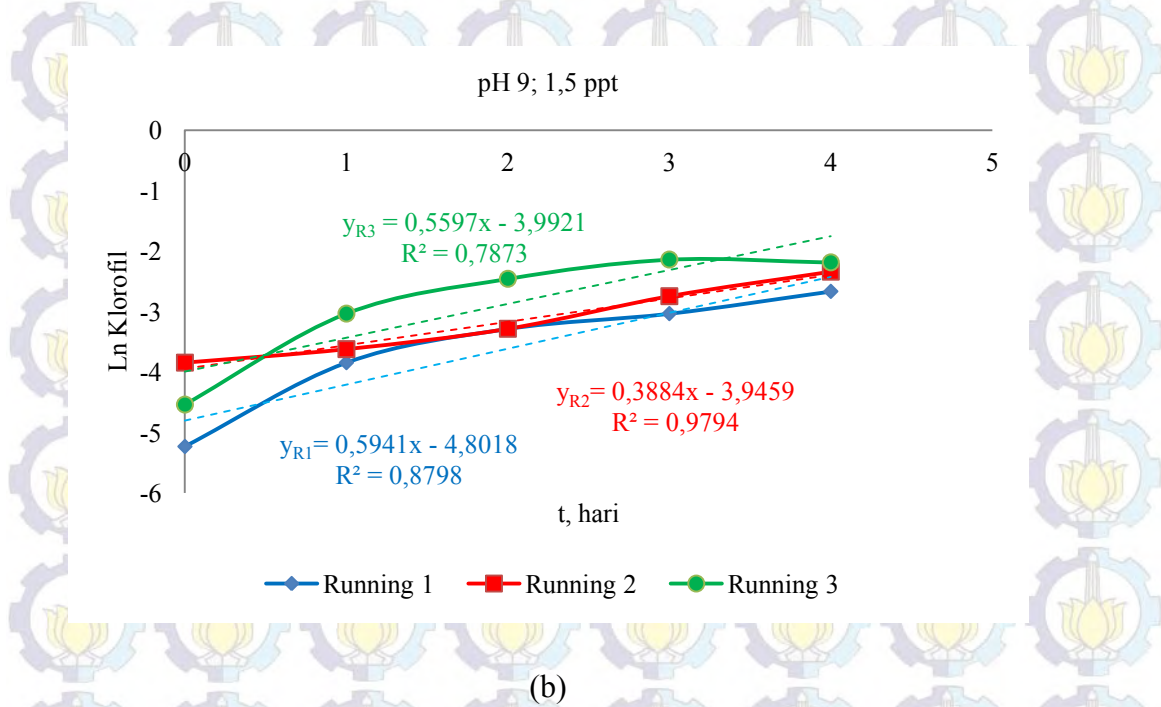
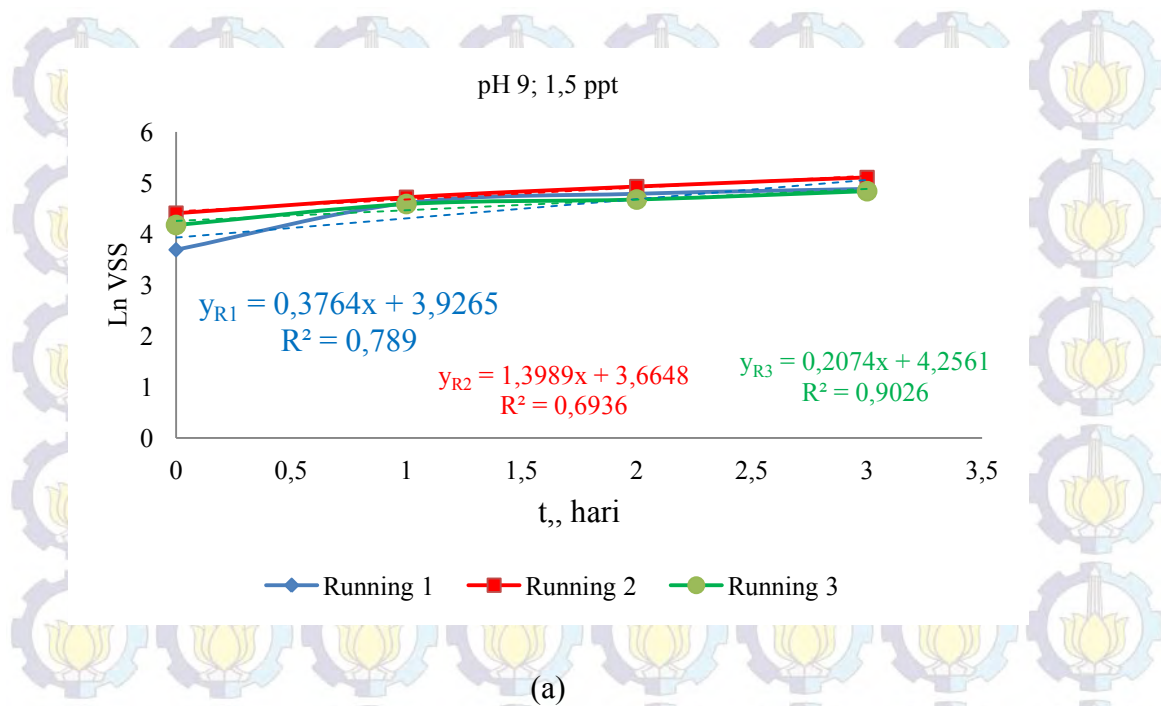
Hari ke-	COD, mg/L	VSS, mg/L	Klorofil a, mg/L	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	COD (So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	232	40	0,005	3,69	-5,233				
1	112	100	0,021	4,61	-3,846	120,0	100	0,021	0,009
2	130	120	0,037	4,79	-3,287	102,4	120	0,037	0,008
3	77	132	0,048	4,88	-3,035	155,2	132	0,048	0,013
4	118	140	0,069	4,94	-2,668	113,6	280	0,139	0,008
7	131	144	0,096	4,97	-2,342	100,8	432	0,288	0,008
8	82	152	0,064	5,02	-2,748	150,4	152	0,064	0,012
9	83	144	0,059	4,97	-2,835	148,8	144	0,059	0,012
10	114	156	0,053	5,05	-2,930	118,1	156	0,053	0,009
11	67	144	0,048	4,97	-3,035	165,2	144	0,048	0,015
14	63	144	0,037	4,97	-3,287	169,0	432	0,112	0,016

Tabel L-69: Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 9,0 dan salinitas 1,5 ppt, Running ke 2

Hari ke-	COD, mg/L	VSS, mg/L	Klorofil a, mg/L	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	COD (So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	154	82	0,021	4,41	-3,846				
1	109	112	0,027	4,72	-3,623	44,8	112	0,027	0,009
2	118	138	0,037	4,93	-3,287	36,2	138	0,037	0,009
3	99	165	0,064	5,11	-2,748	55,0	165	0,064	0,010
4	69	120	0,096	4,79	-2,342	85,3	120	0,096	0,015
5	66	108	0,085	4,68	-2,460	87,6	108	0,085	0,015
8	90	96	0,059	4,56	-2,835	64,3	288	0,176	0,011
9	86	80	0,064	4,38	-2,748	67,7	80	0,064	0,012
10	87	80	0,069	4,38	-2,668	66,7	80	0,069	0,012
11	86	80	0,053	4,38	-2,930	67,7	80	0,053	0,012
12	87	80	0,059	4,38	-2,835	66,7	80	0,059	0,012

Tabel L-70 : Hasil Penelitian HRAR dengan kondisi pH 9,0 dan salinitas 1,5 ppt, Running ke 3

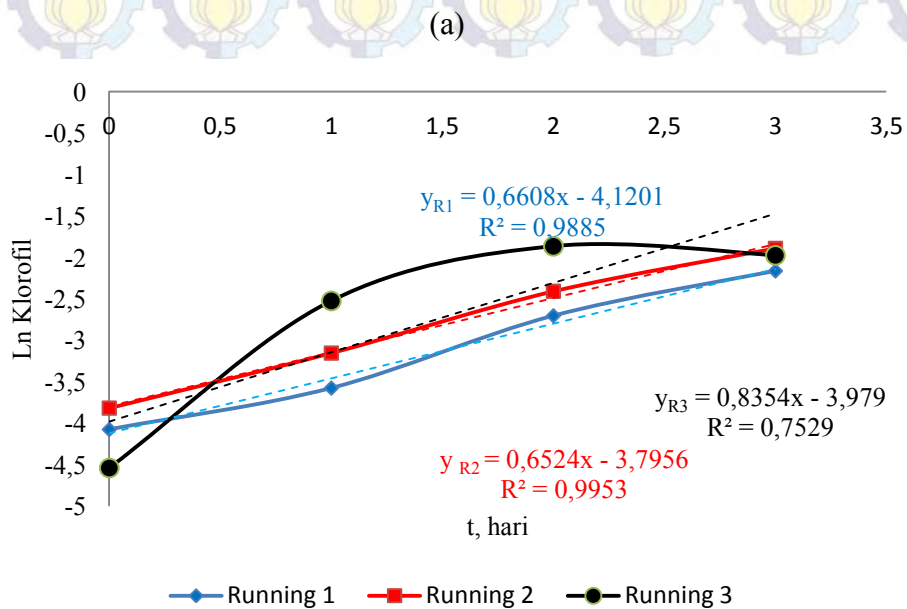
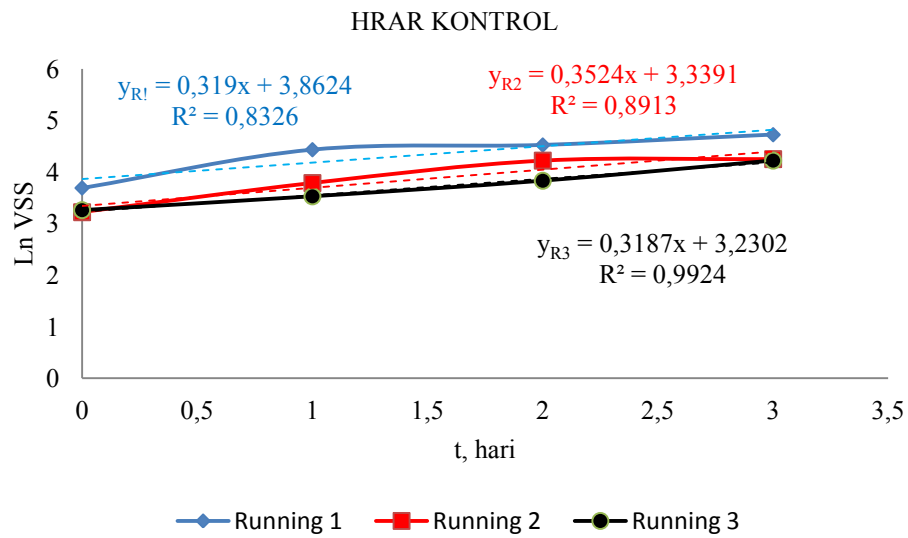
Hari ke-	COD, mg/L	VSS, mg/L	Klorofil a, mg/L	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	COD (So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	138	65	0,011	4,17	-4,539				
1	109	98	0,048	4,58	-3,035	28,5	98	0,048	0,009
2	108	107	0,085	4,67	-2,460	30,2	107	0,085	0,009
3	95	126	0,117	4,84	-2,141	42,4	126	0,117	0,011
6	87	124	0,112	4,82	-2,188	50,6	372	0,336	0,012
7	82	100	0,134	4,61	-2,014	55,6	100	0,134	0,012
8	108	132	0,117	4,88	-2,141	30,2	132	0,117	0,009
10	95	112	0,085	4,72	-2,460	42,4	224	0,171	0,011
13	87	124	0,069	4,82	-2,668	50,6	372	0,208	0,012
14	82	100	0,064	4,61	-2,748	55,6	100	0,064	0,012



Gambar L.6 : Penentuan nilai Laju pertumbuhan spesifik biomassa sebagai MLVSS dan alga pH 9,0 dan salinitas 1,5 ppt

Tabel L-71: Hasil Penelitian HRAR KONTROL,

Hari ke-	COD, mg/L	VSS, mg/L	Klorofil a, mg/L	ln (VSS)	ln (Klorofil a)	COD (So-S)	VSS.t	Klorofil a.t	1/S
0	232	40	0,017	3,69	-4,075				
1	120	84	0,028	4,43	-3,576	112,0	84	0,028	0,008
2	115	92	0,067	4,52	-2,703	116,8	92	0,067	0,009
3	110	92	0,115	4,52	-2,163	121,6	92	0,115	0,009
4	98	116	0,059	4,75	-2,835	134,4	232	0,117	0,010
7	96	108	0,053	4,68	-2,930	136,0	324	0,160	0,010
8	93	104	0,037	4,64	-3,287	139,2	104	0,037	0,011
9	69	96	0,043	4,56	-3,153	163,2	96	0,043	0,015
10	64	96	0,048	4,56	-3,035	168,2	96	0,048	0,016
11	70	100	0,053	4,61	-2,930	162,2	100	0,053	0,014
14	83	96	0,053	4,56	-2,930	149,5	288	0,160	0,012



Gambar L.7: Penentuan nilai Laju pertumbuhan spesifik biomassa sebagai MLVSS dan alga pH pada HRAR Kontrol

Tabel L-72: Efek salinitas pada kinerja HRAR proses *batch*

Reaktor	Rata-rata Penurunan COD (%)		
	COD		
	137,8 mg/L	137,8 mg/L	137,8 mg/L
Reaktor A (pH 4,5; Salinitas 0,8 ppt)	57,8	67,8	65,0
Reaktor B (pH 6; Salinitas 0,8 ppt)	51,2	69,7	63,6
Reaktor C (pH 9; Salinitas 0,8 ppt)	59,3	79,9	75,2
Reaktor D (pH 4,5; Salinitas 1,5 ppt)	56,1	67,7	63,7
Reaktor E (pH 6; Salinitas 1,5 ppt)	65,5	70,1	63,1
Reaktor F (pH 9; Salinitas 1,5 ppt)	57,9	74,9	71,6
Reaktor Kontrol	60,5	76,3	82,8

Tabel L-73: Efek salinitas pada kinerja HRAR proses *batch*

Reaktor	Rentang Nilai VSS (mg/L)		
	COD		
	137,8 mg/L	137,8 mg/L	137,8 mg/L
Reaktor A (pH 4,5; Salinitas 0,8 ppt)	32-88	12-72	36-76
Reaktor B (pH 6; Salinitas 0,8 ppt)	40-128	48-188	36-112
Reaktor C (pH 9; Salinitas 0,8 ppt)	40-156	48-196	36-124
Reaktor D (pH 4,5; Salinitas 1,5 ppt)	40-92	12-84	36-76
Reaktor E (pH 6; Salinitas 1,5 ppt)	40-112	48-160	36-116
Reaktor F (pH 9; Salinitas 1,5 ppt)	40-156	48-164	36-144
Reaktor Kontrol	40-116	48-168	36-160

Tabel L-74: Efek salinitas pada kinerja HRAR proses *batch*

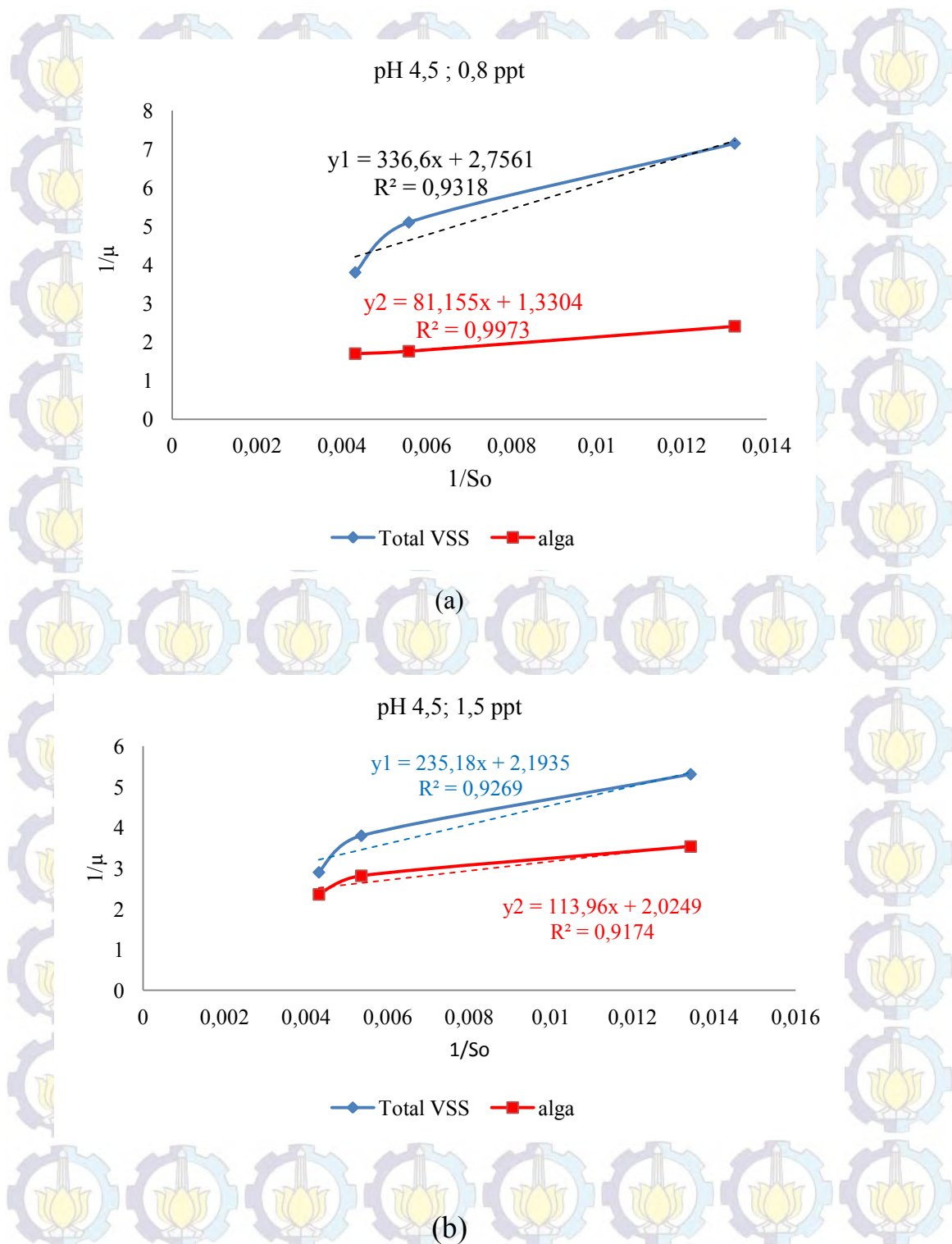
Reaktor	Peningkatan VSS (%)		
	COD		
	137,8 mg/L	137,8 mg/L	137,8 mg/L
Reaktor A (pH 4,5; Salinitas 0,8 ppt)	33	25,0	64,2
Reaktor B (pH 6; Salinitas 0,8 ppt)	156	182,5	163,0
Reaktor C (pH 9; Salinitas 0,8 ppt)	216	218,3	190,1
Reaktor D (pH 4,5; Salinitas 1,5 ppt)	74	15,0	66,7
Reaktor E (pH 6; Salinitas 1,5 ppt)	142	176,7	150,6
Reaktor F (pH 9; Salinitas 1,5 ppt)	244	140,8	213,6
Reaktor Kontrol	146	191,7	263,0

Tabel L-75: Efek salinitas pada kinerja HRAR proses *batch*

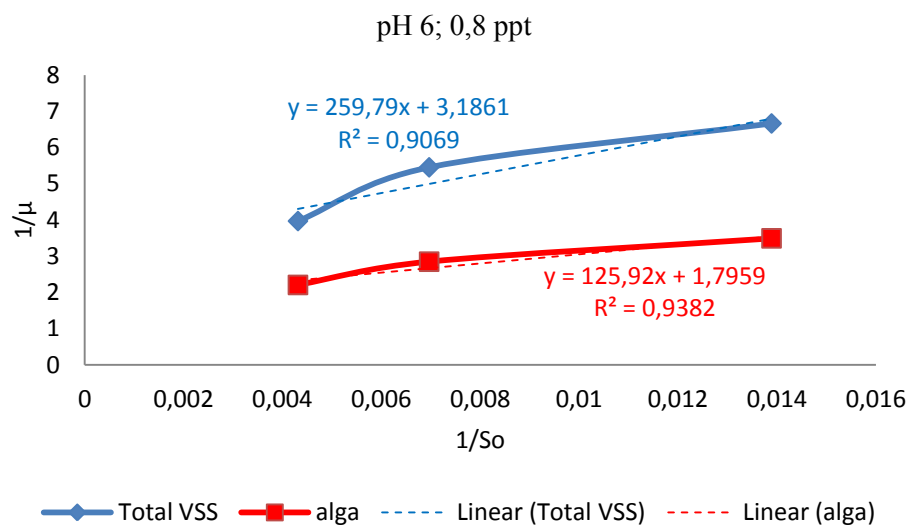
Reaktor	Rentang Nilai Klorofil <i>a</i> (mg/L)		
	COD		
	137,8 mg/L	137,8 mg/L	137,8 mg/L
Reaktor A (pH 4,5; Salinitas 0,8 ppt)	0,011-0,069	0,016-0,08	0,011-0,096
Reaktor B (pH 6; Salinitas 0,8 ppt)	0,011-0,085	0,016-0,117	0,011-0,144
Reaktor C (pH 9; Salinitas 0,8 ppt)	0,011-0,096	0,016-0,101	0,011-0,139
Reaktor D (pH 4,5; Salinitas 1,5 ppt)	0,011-0,059	0,016-0,69	0,011-0,064
Reaktor E (pH 6; Salinitas 1,5 ppt)	0,011-0,117	0,016-0,123	0,011-0,085
Reaktor F (pH 9; Salinitas 1,5 ppt)	0,011-0,096	0,016-0,96	0,011-0,134
Reaktor Kontrol	0,011-0,075	0,016-0,112	0,011-0,187

Tabel L-76: Efek salinitas pada kinerja HRAR proses *batch*

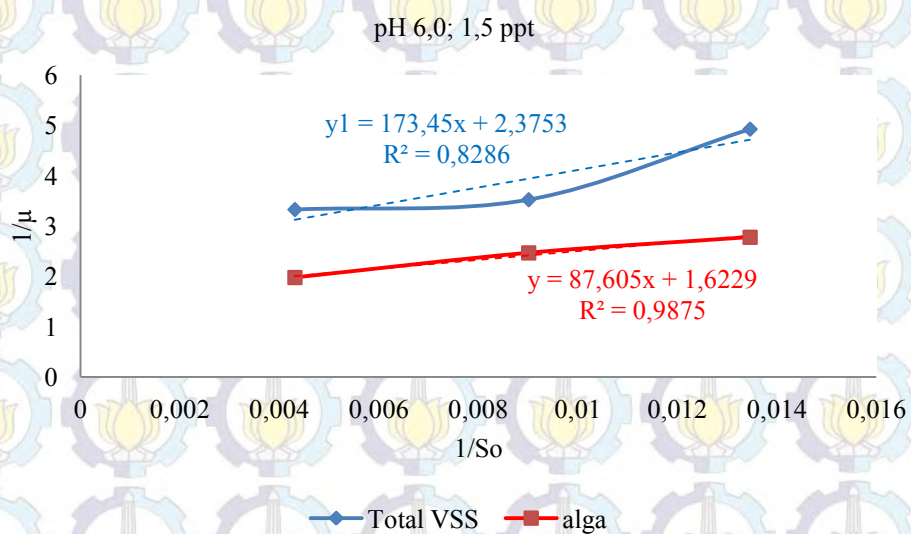
Reaktor	Rata-rata Peningkatan Klorofil <i>a</i> (%)		
	COD		
	137,8 mg/L	154 mg/L	232 mg/L
Reaktor A (pH 4,5; Salinitas 0,8 ppt)	244,7	213,7	361,1
Reaktor B (pH 6; Salinitas 0,8 ppt)	341,8	474,1	522,2
Reaktor C (pH 9; Salinitas 0,8 ppt)	477,7	360,6	766,7
Reaktor D (pH 4,5; Salinitas 1,5 ppt)	220,4	127,0	261,1
Reaktor E (pH 6; Salinitas 1,5 ppt)	535,9	450,7	400,0
Reaktor F (pH 9; Salinitas 1,5 ppt)	385,5	283,8	766,7
Reaktor Kontrol	332,1	397,3	1283,3



Gambar L.8 Penentuan μ_{maks} dan K_s , pH 4,5 pada salinitas berbeda

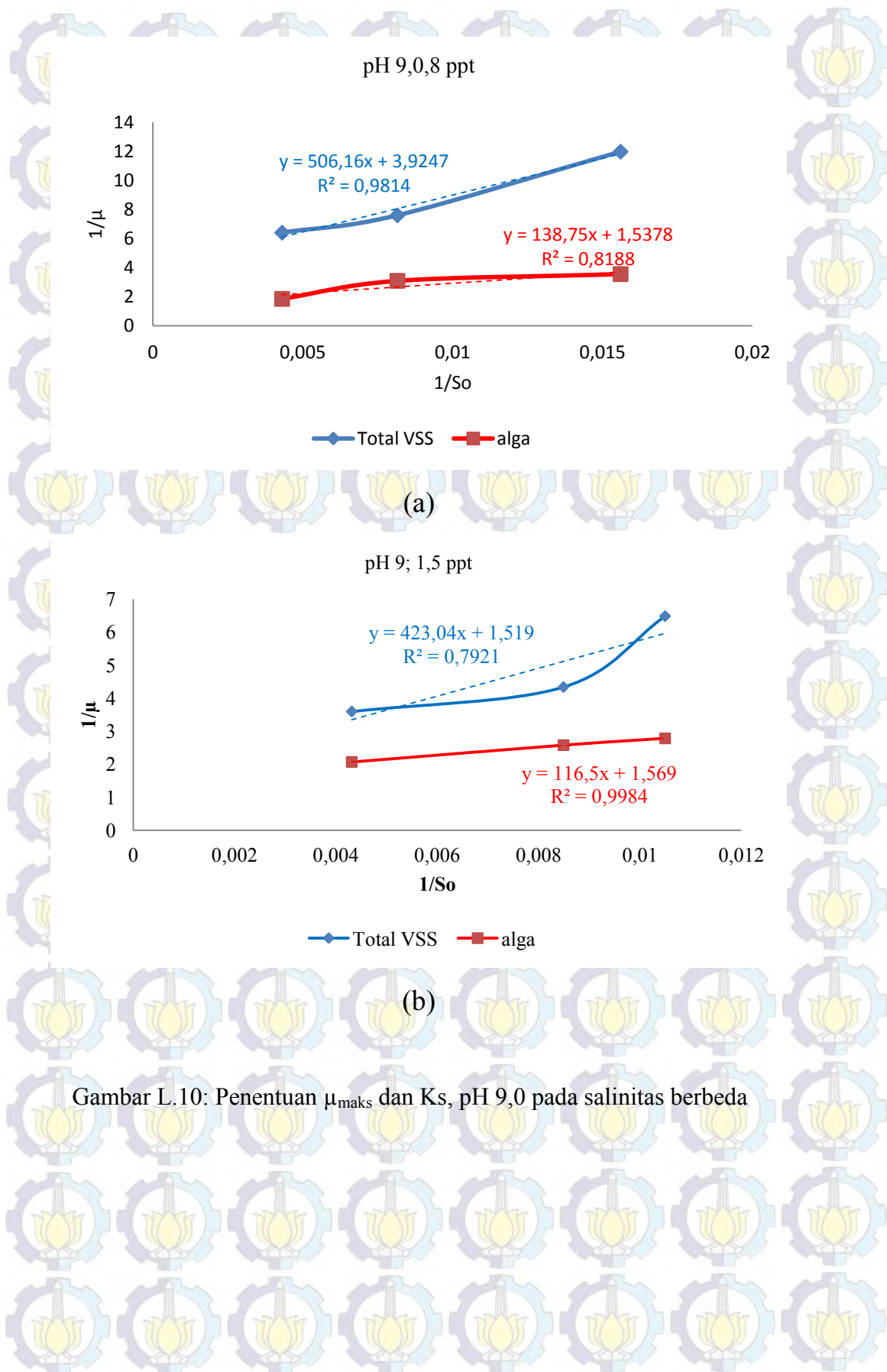


(a)



(b)

Gambar L.9 : Penentuan μ_{maks} dan Ks, pH 6,0 pada salinitas berbeda



Gambar L.10: Penentuan μ_{maks} dan K_s , pH 9,0 pada salinitas berbeda

Tabel L-77 : Analisis penentuan nilai Y dan kd, pada salinitas 0,8 ppt

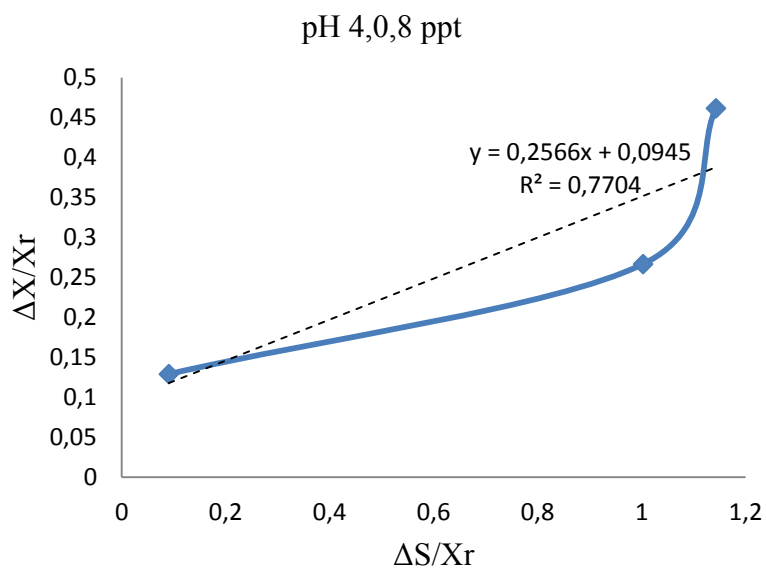
Variabel percobaan	HRAR	S ₀ , mg/L	Se, mg/L	X ₀ , mg VSS/L	X _e , mg VSS/L	ΔS, mg/L	ΔX, mg VSS/L	Xrerata, mg VSS/L	ΔS/Xr	ΔX/Xr
pH 4,0,8 ppt	R1	232	180	35	56	52,0	21	45,5	1,1428	0,4615
	R2	179	119	52	68	60,2	16	60	1,0027	0,2666
	R3	81	76	58	66	5,6	8	62	0,0904	0,1290
pH 6 ; 0,8 ppt	R1	232	158	40	76	73,6	36	58	1,2689	0,6207
	R2	144	109	42	56,0	34,3	14	49	0,7006	0,2857
	R3	143	131	45	60	12,3	15	52,5	0,2340	0,2857
pH 9; 0,8 ppt	R1	232	142	62	84	89,6	22	73	1,2273	0,3014
	R2	122	70	86	108	52,2	22	97	0,5381	0,2268
	R3	127	104	105	122	22,9	17	113,5	0,2015	0,1498

Tabel L-78 : Analisis penentuan nilai Y dan kd, pada salinitas 1,5 ppt

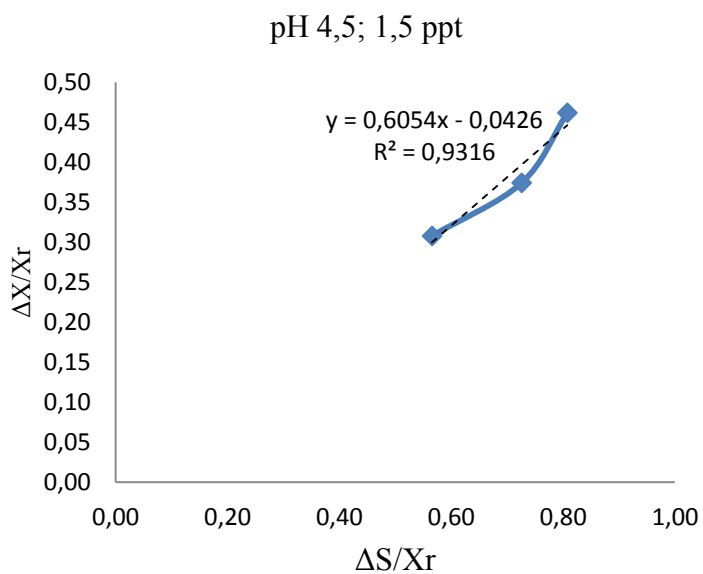
Variabel percobaan	HRAR	S ₀ , mg/L	Se, mg/L	X ₀ , mg VSS/L	X _e , mg VSS/L	ΔS, mg/L	ΔX, mg VSS/L	Xrerata, mg VSS/L	ΔS/Xr	ΔX/Xr
pH 4,5; 1,5 ppt	R1	23	190	40	64	42,0	24	52,0	0,8077	0,4615
	R2	186	142	50	73	44,6	23	61,5	0,7259	0,3740
	R3	111	74	55	75	36,8	20	65,0	0,5658	0,3077
pH 6; 1,5 ppt	R1	23	193	40	74	39,2	34	57,0	0,6877	0,5965
	R2	142	111	40	68	31,6	28	54,0	0,5855	0,5185
	R3	135	111	65	88	24,2	23	76,5	0,3164	0,3007
pH 9; 1,5 ppt	R1	232	112	40	119	120,0	79	79,5	1,5094	0,9937
	R2	154	102	72	112	51,8	40	92,0	0,5631	0,4348
	R3	138	109	65	85	28,5	20	75,0	0,3801	0,2667

Tabel L-79 : Hasil analisis nilai Y dan kd

pH	salinitas	Y, (mg/L)	kd, (1/hari)
4,5	0,8	0,2566	0,0945
	1,5	0,6054	0,0360
6	0,8	0,3330	0,1620
	1,5	0,7994	0,0483
9	0,8	0,1419	0,1323
	1,5	0,6264	0,0530

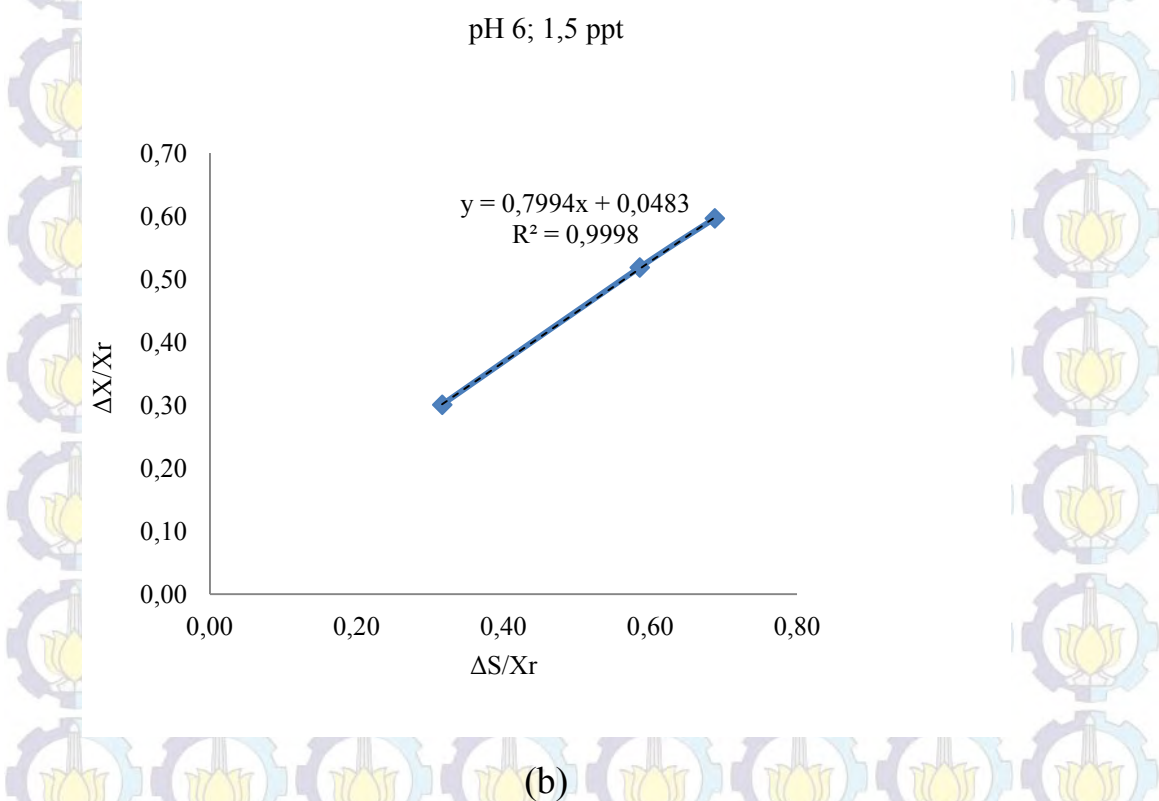
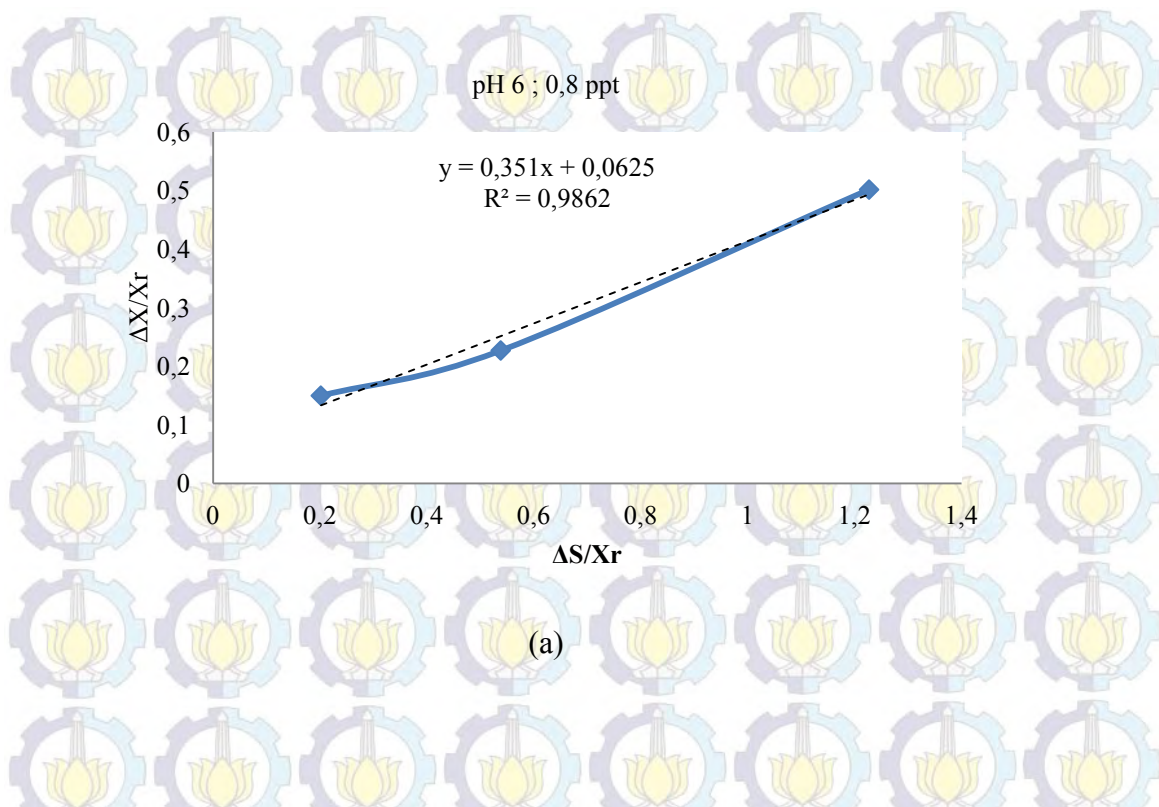


(a)

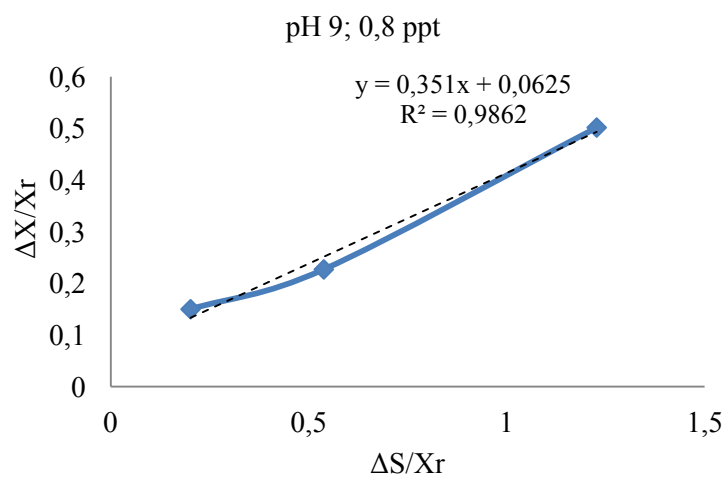


(b)

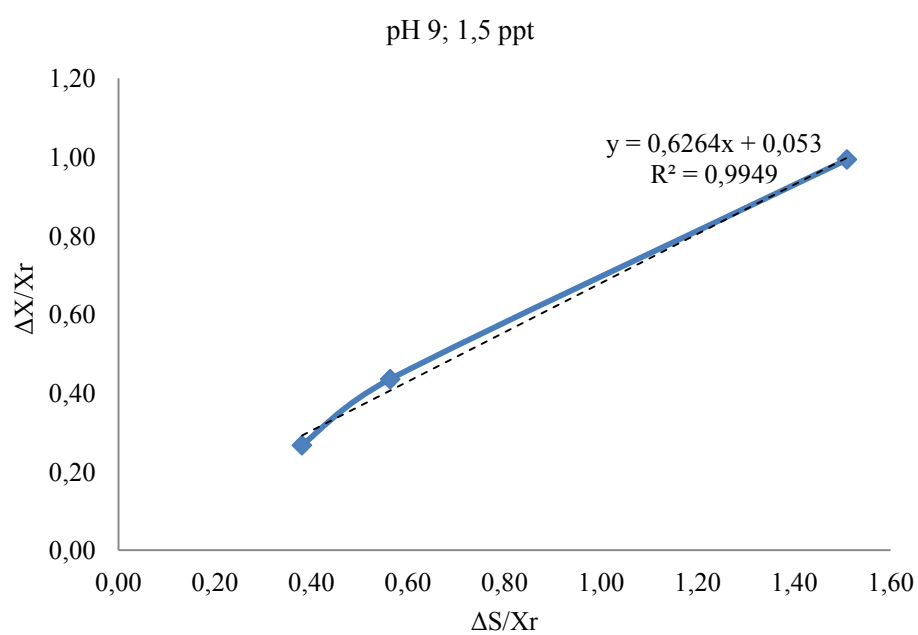
Gambar L.11 Penentuan koefisien Biokinetik Y dan kd pada pH 4,5; salinitas 0,8 dan 1,5ppt



Gambar L 12 : Penentuan koefisien Biokinetik Y dan kd pada pH 6; salinitas 0,8 dan 1,5ppt

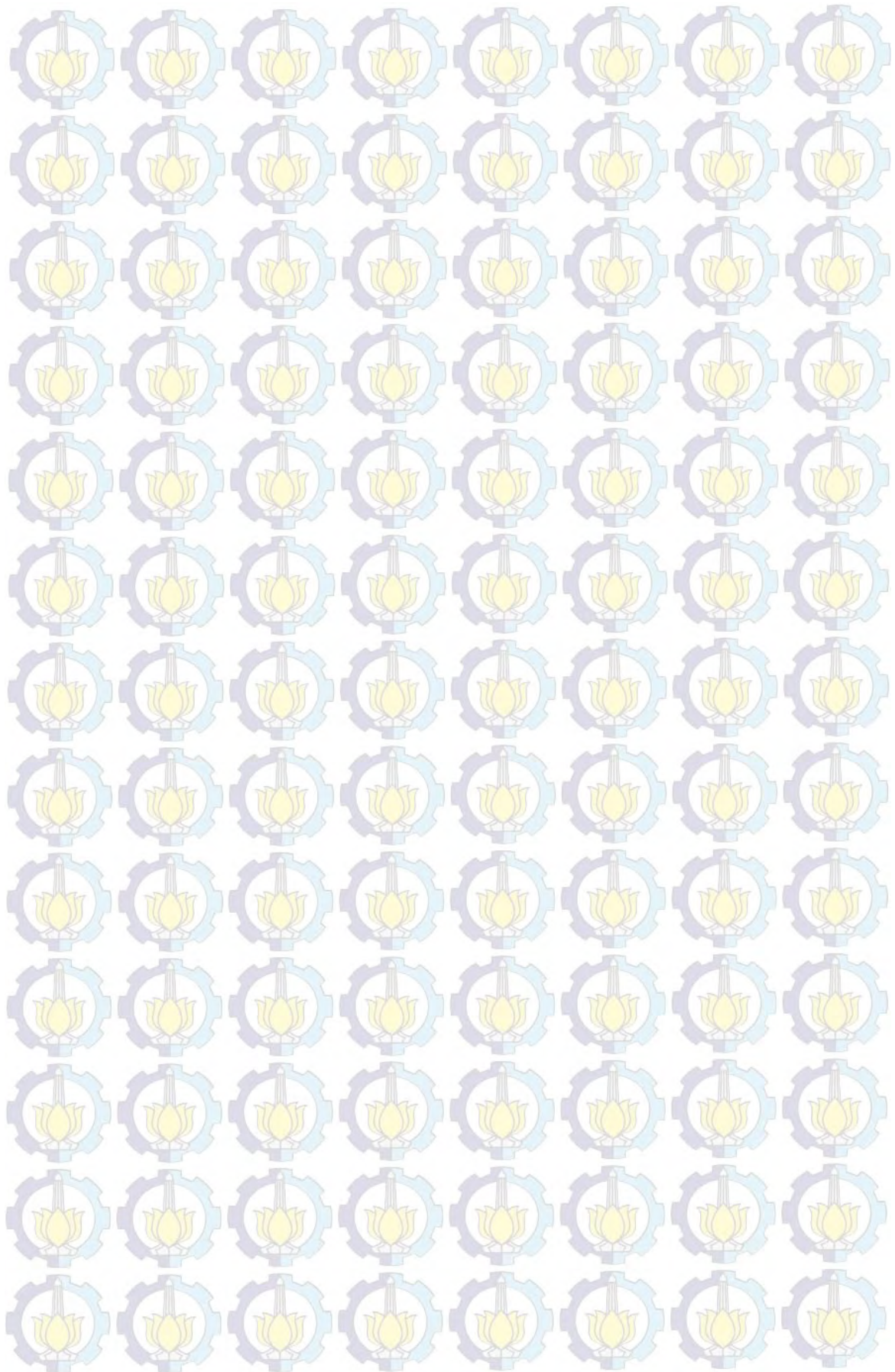


(a)



(b)

Gambar L 13 : Penentuan koefisien Biokinetik Y dan kd pada pH 9; salinitas 0,8 dan 1,5ppt



IV. Hasil Penelitian HRAR aliran Kontinyu

Tabel L-80 : Hasil Pengukuran konsentrasi COD tanpa penambahan bakteri

Hari ke	Pengukuran Sore Hari				Pengukuran Pagi hari			
	Inlet	R2	R4	R6	Inlet	R2	R4	R6
0	102,72	34,24	51,36	68,48	68,48	34,24	51,36	34,24
1	51,36	17,12	34,24	34,24	192,60	51,36	68,48	51,36
2	85,6	17,12	17,12	17,12	51,36	17,12	17,12	17,12
3	34,24	17,12	17,12	34,24	114,13	17,12	17,12	34,24
4	57,07	17,12	34,24	34,24	102,72	17,12	17,12	17,12
5	51,36	17,12	17,12	34,24	85,6	17,12	34,24	17,12
6	34,24	17,12	17,12	17,12	102,72	17,12	17,12	17,12
7	34,24	14,56	29,12	14,56	116,48	14,56	29,12	14,56
8	58,24	14,56	29,12	14,56	43,68	14,56	14,56	29,12
Rerata	56,56	18,45	27,40	29,87	97,53	22,26	29,58	25,78
Stdev	23,78	6,02	11,71	17,18	44,36	12,45	18,89	12,42

Tabel L-81 : Hasil Pengukuran Konsentrasi MLSS, mg/L tanpa penambahan bakteri

Hari, ke	Pengukuran Sore Hari				Pengukuran Pagi hari			
	Inlet	R2	R4	R6	Inlet	R2	R4	R6
0		236	48	88	44	160	16	84
1	24	156	16	88	24	68	20	56
2	12	72	40	76	12	88	4	64
3	8	132	52	80	36	72	48	76
4	24	104	48	104	64	64	20	100
5	24	100	44	92	16	48	32	96
6	28	76	44	132	16	40	32	76
7	8	72	52	100	76	40	32	72
8	48	36	40	48	64	20	48	60
Rerata	22	95,26	42,07	89,98	38,57	56,30	29,33	75,11
StDev	12,33	35,88	10,77	22,72	24,08	20,84	13,86	14,94

Tabel L-82: Hasil Pengukuran Konsentrasi Klorofil-a, mg/L tanpa penambahan bakteri

Hari ke-	Pengukuran Sore hari			Pengukuran Pagi hari		
	R2	R4	R6	R2	R4	R6
0	0,43	0,50	0,80	0,91	0,64	0,77
1	1,55	0,32	0,91	0,32	0,34	0,68
2	0,47	0,75	0,78	0,75	0,53	0,66
3	0,64	0,91	0,11	0,30	0,27	0,12
4	0,30	0,20	0,12	0,92	0,91	0,10
5	0,60	0,50	0,14	0,80	0,82	0,42
6	0,80	0,69	0,94	0,60	0,60	0,75
7	1,26	1,28	0,80	1,00	0,75	0,80
8	1,48	1,50	1,53	1,35	1,24	1,22
Rerata	0,84	0,74	0,68	0,77	0,68	0,61
StdDev	0,47	0,43	0,48	0,33	0,30	0,35

L-83: Data Hasil Analisa *Chlorophyll a* dengan Penambahan Bakteri

Volume Bakteri	HRT (hari)	Hasil Analisa <i>Chlorophyll a</i> (mg/L)									
		Hari ke-									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	
200 mL	0,5	0,342	0,379	0,609	0,539	0,966	1,282	1,484	1,543	1,618	
	1,0	0,342	0,443	0,753	0,721	0,790	1,378	1,431	1,266	1,116	
	1,5	0,256	0,561	1,148	1,266	1,655	1,303	1,506	3,193	2,868	
	2,0	0,256	0,662	0,892	1,164	1,239	1,159	1,121	0,870	0,972	
	0,5	0,256	0,683	0,929	1,073	2,483	2,456	2,873	1,762	2,494	
400 mL	0,5	0,278	0,400	0,844	0,924	1,036	2,617	2,713	2,835	2,766	
	1,0	0,278	0,705	1,250	1,837	3,514	3,476	3,797	2,948	3,418	
	1,5	0,278	0,662	0,892	1,164	1,773	2,227	2,498	2,472	2,574	
	2,0	0,278	0,662	0,892	1,164	1,773	2,227	2,498	2,472	2,574	

Tabel L-84 Data Hasil Perhitungan Biomassa Alga dengan Penambahan Bakteri

Volume Bakteri	HRT (hari)	Biomassa Alga, mg/L ($MLVSS_A = [\text{klorofil-a}] \times 67$)								
		Hari ke-								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
200 mL	0,5	22,9	25,4	40,8	36,1	64,8	85,9	99,5	103,4	108,4
	1,0	22,9	29,7	50,4	48,3	53,0	92,3	95,9	84,8	74,8
	1,5	17,2	37,6	76,9	84,8	110,9	87,3	100,9	214,0	192,1
	2,0	17,2	44,4	59,7	78,0	83,0	77,6	75,1	58,3	65,1
	2,0	17,2	44,4	59,7	78,0	83,0	77,6	75,1	58,3	65,1
400 mL	0,5	17,2	45,8	62,3	71,9	166,4	164,6	192,5	118,1	167,1
	1,0	18,6	26,8	56,5	61,9	69,4	175,3	181,8	190,0	185,3
	1,5	18,6	47,2	83,7	123,1	235,4	232,9	254,4	197,5	229,0
	2,0	18,6	44,4	59,7	78,0	118,8	149,2	167,1	165,7	172,4
	2,0	18,6	44,4	59,7	78,0	118,8	149,2	167,1	165,7	172,4

L-85 Data Hasil Analisa MLVSS dengan Penambahan Bakteri

Volume Bakteri	HRT (hari)	Hasil Analisa MLVSS (mg/L)								
		Hari ke-								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
200 mL	0,5	360	550	620	800	950	890	880	810	820
	1,0	370	550	570	700	970	630	920	870	940
	1,5	690	790	610	660	970	850	910	1060	1080
	2,0	740	750	820	890	940	1080	910	1000	960
	2,0	740	750	820	890	940	1080	910	1000	960
400 mL	0,5	350	430	750	620	690	950	990	860	730
	1,0	360	530	690	830	980	560	550	640	550
	1,5	680	910	1280	1360	1310	1480	1880	1350	1210
	2,0	710	850	740	950	1090	1070	1010	940	1080
	2,0	710	850	740	950	1090	1070	1010	940	1080

Tabel L-86: Perhitungan konsentrasi Bakteri

Volume Bakteri	HRT (hari)	Biomassa Bakteri, mg/L ($MLVSS_B = MLVSS - MLVSS_A$)									
		Hari ke-									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	
200 mL	0,5	337,1	524,6	579,2	763,9	885,2	804,1	780,5	706,6	711,6	
	1,0	347,1	520,3	519,6	651,7	917,0	537,7	824,1	785,2	865,2	
	1,5	672,8	752,4	533,1	575,2	859,1	762,7	809,1	846,0	887,9	
	2,0	722,8	705,6	760,3	812,0	857,0	1002,4	834,9	941,7	894,9	
400 mL	0,5	332,8	384,2	687,7	548,1	523,6	785,4	797,5	741,9	562,9	
	1,0	341,4	503,2	633,5	768,1	910,6	384,7	368,2	450,0	364,7	
	1,5	661,4	862,8	1196,3	1236,9	1074,6	1247,1	1625,6	1152,5	981,0	
	2,0	691,4	805,6	680,3	872,0	971,2	920,8	842,9	774,3	907,6	

Tabel L-87 : Analisis data untuk penentuan koefisien Biodegradability detergen (K)

Penambahan kultur bakteri, mL	td, hari	[Detergen]		(St/Si) -1
		Si, mg MBAS/L	St, mg MBAS/L	
200	0,5	1,180	0,472	1,501
	1,0	1,180	0,352	2,357
	1,5	1,698	0,442	2,843
	2,0	1,852	0,482	2,843
400	0,5	1,006	0,328	2,067
	1,0	1,698	0,542	2,133
	1,5	1,698	0,318	4,337
	2,0	1,073	0,211	4,080

Tabel L-88 : Analisis data untuk penentuan koefisien Biodegradability (K)

Penambahan kultur bakteri, mL	td, hari	[COD]		(St/Si) -1
		Si, mg/L	St, mg /L	
200	0,5	107,44	88,48	0,214
	1,0	118,50	71,10	0,667
	1,5	169,06	86,90	0,946
	2,0	181,70	52,14	2,484
400	0,5	102,70	72,68	0,413
	1,0	93,22	63,20	0,475
	1,5	162,74	48,98	2,323
	2,0	197,5	55,04	2,588

Tabel L-89 : Analisis data korelasi rasio alga/bakteri dan kemampuan penyisihan detergen dan COD

Penambahan kultur bakteri, mL	td, hari	Rasio alga/bakteri	% Penyisihan	
			Detergen	COD
200	0,5	0,064	86,91	17,65
	1,0	0,062	80,68	40,00
	1,5	0,025	81,66	48,60
	2,0	0,023	80,32	61,74
400	0,5	0,049	73,98	29,23
	1,0	0,052	90,31	32,20
	1,5	0,027	83,62	69,90
	2,0	0,026	84,02	69,60

Tabel L-90 Analisis data untuk penentuan koefisien Biokinetik Y dan kd

Penambahan kultur bakteri	Td, hari	Si, mg/L	St, mg/L	(St/Si) - 1	Xi,mg VSS/L	Xt, mg VSS/L	1/td	(Si-St)/Xr.td
400 mL	0,5	197,50	72,68	1,717	67,28	75,24	2	3,503
	1	193,22	63,20	2,057	72,28	76,56	1	1,747
	1,5	162,74	68,98	1,359	66,14	86,28	0,7	0,820
	2	197,50	60,04	2,289	69,14	94,56	0,5	0,840
200 mL	0,5	181,70	88,48	2,112	33,71	62,46	2	3,877
	1	118,50	71,10	1,405	34,71	52,03	1	1,093
	1,5	169,06	86,90	0,384	33,28	68,42	0,7	1,077
	2	181,70	69,52	0,179	34,14	50,32	0,5	1,328

Tabel L-91 : Analisis prediksi BOD efluen (Se) Boezem sebagai HRAP dengan pendekatan aplikasi nilai koefisien *biodegradability* K, dan Volume Boezem = 282000 m³

Td, hari	Q, m ³ /hari	K ₁ =1,675 /hari			K ₂ =1,412/hari		
		So, mg/L			So, mg/L		
		31	88	111	31	88	111
0,50	6,53	16,98	47,80	60,60	18,26	51,40	65,16
0,75	4,35	13,83	38,93	49,36	15,12	42,57	53,96
1,00	3,26	11,66	32,84	41,63	12,90	36,33	46,05
1,25	2,61	10,08	28,39	36,00	11,25	31,68	40,16
1,50	2,18	8,88	25,01	31,70	9,98	28,09	35,61
1,75	1,87	7,94	22,34	28,33	8,96	25,23	31,98
2,00	1,63	7,17	20,19	25,60	8,13	22,90	29,03
2,25	1,45	6,54	18,42	23,35	7,45	20,96	26,57
2,50	1,31	6,01	16,93	21,47	6,86	19,33	24,50
2,75	1,19	5,57	15,67	19,86	6,37	17,93	22,73
3,00	1,09	5,18	14,58	18,48	5,94	16,72	21,19
3,25	1,00	4,84	13,63	17,28	5,56	15,66	19,85
3,50	0,93	4,55	12,80	16,23	5,23	14,73	18,67
3,75	0,87	4,28	12,06	15,29	4,94	13,90	17,63
4,00	0,82	4,05	11,41	14,46	4,68	13,16	16,69
4,25	0,77	3,84	10,82	13,72	4,44	12,50	15,85
4,50	0,73	3,65	10,29	13,04	4,23	11,90	15,09
4,75	0,69	3,48	9,81	12,43	4,03	11,35	14,40
5,00	0,65	3,33	9,37	11,88	3,86	10,86	13,76
5,25	0,62	3,19	8,97	11,37	3,69	10,40	13,19
5,50	0,59	3,06	8,60	10,90	3,55	9,98	12,66
5,75	0,57	2,93	8,26	10,47	3,41	9,60	12,17
6,00	0,54	2,82	7,95	10,08	3,28	9,24	11,71
6,25	0,52	2,72	7,66	9,71	3,16	8,91	11,29
6,50	0,50	2,62	7,39	9,37	3,05	8,60	10,90

Tabel L-92: Perhitungan Simulasi Aplikasi Koefisien Biokinetik Dengan Pendekatan berbasis Persamaan Monod.

$$S_e = \frac{K_s(1 + k_d \cdot HRT)}{HRT(\mu_{max} - k_d) - 1}$$

HRT, hari	Estimasi Se, mg BOD/L		
	$\mu_{max} = 0,658$ $K_s = 82 \text{ mg/L}$	$\mu_{max} = 0,723$ $K_s = 73 \text{ mg/L}$	$\mu_{max} = 0,376$ $K_s = 35 \text{ mg/L}$
10	17,8	14,2	16,1
13	13,7	11,0	11,9
15	12,0	9,7	10,3
20	9,4	7,6	7,8
22	8,7	7,0	7,2
24	8,1	6,6	6,7
26	7,7	6,2	6,2
28	7,2	5,9	5,9
30	6,9	5,6	5,6
32	6,6	5,3	5,3
34	6,3	5,1	5,1
36	6,1	4,9	4,9
38	5,9	4,8	4,7
40	5,7	4,6	4,6
42	5,5	4,5	4,4
44	5,4	4,4	4,3
46	5,2	4,2	4,2
48	5,1	4,1	4,1
50	5,0	4,1	4,0
52	4,9	4,0	3,9
54	4,8	3,9	3,8
56	4,7	3,8	3,7

Tabel L-93: Analisis prediksi kebutuhan biomassa aktif (VSS) untuk pemulihan Boezem sebagai HRAP dengan pendekatan aplikasi nilai koefisien biokinetik Y dan kd, dengan Volume Boezem = 282000 m³

Q, m ³ /detik	BOD = 31 mg/L	BOD = 88 mg/L	BOD = 111 mg/L
0,868	20,98	82,88	108,58
1,068	21,39	84,48	110,68
1,268	21,67	85,61	112,16
1,468	21,89	86,46	113,27
1,668	22,05	87,11	114,13
1,868	22,19	87,63	114,81
2,068	22,29	88,06	115,36
2,268	22,38	88,41	115,83
2,468	22,46	88,71	116,22
2,668	22,52	88,96	116,55
2,868	22,58	89,18	116,84
3,068	22,63	89,37	117,09
3,268	22,67	89,54	117,31
3,468	22,71	89,69	117,51
3,668	22,74	89,83	117,68
3,868	22,77	89,95	117,84
4,068	22,80	90,06	117,99
4,268	22,82	90,16	118,12
4,468	22,85	90,25	118,23
4,668	22,87	90,33	118,34
4,868	22,89	90,41	118,44
5,068	22,91	90,48	118,54
5,268	22,92	90,54	118,62
5,468	22,94	90,60	118,70
5,668	22,95	90,66	118,77
5,868	22,96	90,71	118,84
6,068	22,98	90,76	118,91
6,268	22,99	90,81	118,97
6,468	23,00	90,85	119,02
Nilai rerata	22,54	89,05	116,67
Stdev	0,51	2,00	2,61

LAMPIRAN IV

HASIL ANALISIS STATISTIK PENGARUH VARIABEL KEDALAMAN DAN PENCAHAYAAN.

Hypothesis 1 : Kedalaman air berpengaruh pada (1) penambahan konsentrasi Khlorofil dan MLSS, (2) penurunan konsentrasi COD, N-ammonium ; Nitrat dan fosphat

Hypothesis 2 : Percobaan Pengaruh lama waktu pencahayaan dan kedalaman air pada (1) penurunan konsentrasi COD; N-NH₃;N-NO₃;P-PO₄, dan (2) peningkatan konsentrasi MLSS dan Khlorofil.

Hypothesis 3 : Kedalaman air berpengaruh pada (1) penambahan konsentrasi Khlorofil dan MLSS, (2) penurunan konsentrasi COD, N-ammonium ; Nitrat dan fosphat

1. Konsentrasi COD

General Linear Model: COD versus pencahayaan; kedalaman; hari ke

Factor	Type	Levels	Values
pencahayaan	fixed	2	1; 2
kedalaman	fixed	3	25; 40; 60
hari ke	fixed	3	0; 2; 4

Analysis of Variance for COD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
pencahayaan	1	550,0	550,0	550,0	6,71	0,024
kedalaman	2	160,9	160,9	80,4	0,98	0,403
hari ke	2	10303,2	10303,2	5151,6	62,88	0,000
Error	12	983,2	983,2	81,9		
Total	17	11997,2				

S = 9,05164 R-Sq = 91,80% R-Sq(adj) = 88,39%

Unusual Observations for COD					
Obs	COD	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
11	96,400	80,717	5,226	15,683	2,12 R

Tabel diatas merupakan uji GLM ANOVA untuk respon % penurunan COD pada pencahayaan 12 dan 24 jam dengan faktor yang mempengaruhi yaitu kedalaman dan hari percobaan. Pada faktor pencahayaan didapatkan nilai p-value sebesar 0,024 yang selanjutnya diputuskan Tolak H₀ sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor pencahayaan berpengaruh secara signifikan terhadap respon % penurunan COD. Pada faktor kedalaman didapatkan nilai p-value sebesar 0,403 yang selanjutnya diputuskan gagal Tolak H₀ sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor kedalaman tidak berpengaruh secara signifikan terhadap respon % penurunan COD pada aerasi 24 jam. Sedangkan untuk faktor hari percobaan

didapatkan nilai p-value sebesar 0,000 yang selanjutnya diputuskan Tolak H_0 sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor hari percobaan berpengaruh secara signifikan terhadap respon % penurunan COD. Secara keseluruhan dapat diketahui bahwa faktor pencahayaan, kedalaman dan hari percobaan mampu menjelaskan faktor respon % penurunan COD sebesar 91,8% dan sisanya sebesar 8,2% dapat dijelaskan oleh faktor lain diluar penelitian.

Selanjutnya ingin diketahui perbedaan yang signifikan pada faktor jenis pencahayaan dan hari percobaan dengan menggunakan One-Way ANOVA.

One-way ANOVA: COD versus pencahayaan

Source	DF	SS	MS	F	P
pencahayaan	1	550	550	0,77	0,394
Error	16	11447	715		
Total	17	11997			

S = 26,75 R-Sq = 4,58% R-Sq(adj) = 0,00%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
1	9	73,77	27,30	(-----*-----)
2	9	84,82	26,19	(-----*-----)

60 75 90 105

Pooled StDev = 26,75

One-way ANOVA: COD versus kedalaman

Source	DF	SS	MS	F	P
kedalaman	2	161	80	0,10	0,904
Error	15	11836	789		
Total	17	11997			

S = 28,09 R-Sq = 1,34% R-Sq(adj) = 0,00%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
25	6	82,15	33,02	(-----*-----)
40	6	80,57	26,03	(-----*-----)
60	6	75,17	24,48	(-----*-----)

60 75 90 105

Pooled StDev = 28,09

One-way ANOVA: COD versus hari ke

Source	DF	SS	MS	F	P
hari ke	2	10303	5152	45,61	0,000
Error	15	1694	113		
Total	17	11997			

S = 10,63 R-Sq = 85,88% R-Sq(adj) = 84,00%

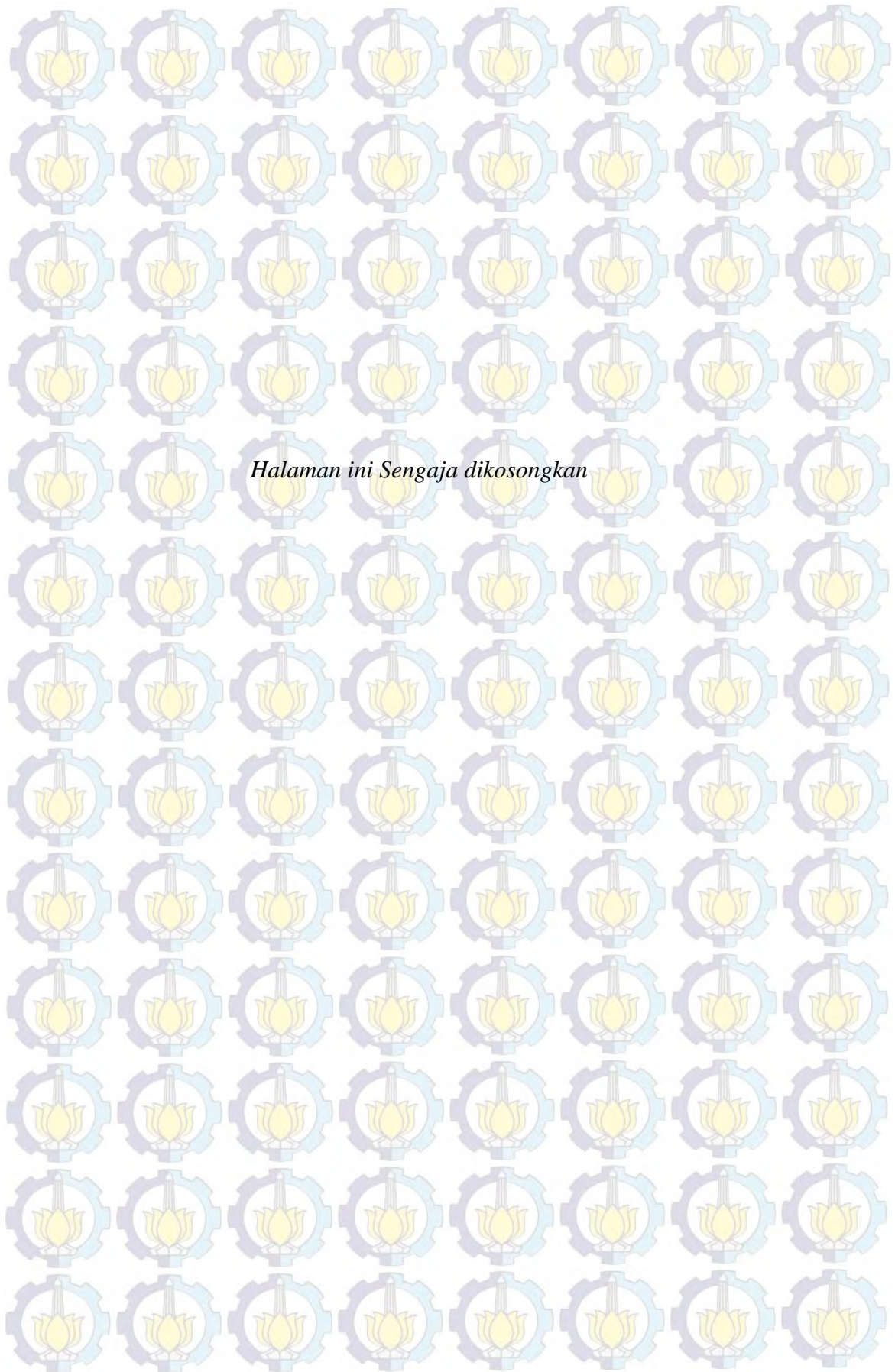
Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	
0	6	111,45	7,21	(-----*-----)
2	6	72,33	13,18	(---*---)
4	6	54,10	10,63	(---*---)

60 80 100 120

Pooled StDev = 10,63

Selanjutnya untuk mengetahui jenis perbedaan mana yang berpengaruh, dapat digunakan analisis One-Way ANOVA seperti pada Tabel diatas, secara statistik terbukti bahwa pencahayaan dan kedalaman tidak berpengaruh secara signifikan terhadap respon % penurunan COD (p-value sebesar 0,394 dan 0,904 yang selanjutnya diputuskan gagal Tolak H_0 sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor pencahayaan dan kedalaman tidak berpengaruh secara signifikan). Secara visual juga dapat diketahui bahwa tidak terdapat perbedaan antar kedalaman yang diujikan. Pada faktor hari percobaan memiliki perbedaan yang signifikan karena p-value 0,000 kurang dari alfa (5%) sehingga diputuskan tolak H_0 . Secara visual juga dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan antar hari percobaan yang diujikan pada level 0 dengan 2 dan 4.



Halaman ini Sengaja dikosongkan



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM BIOLOGI

JURUSAN BIOLOGI
Gedung H Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031 596 3857, 599 4251-55 Pesawat: 1293, 1294
Fax: 031 596 3857
e-mail : biologi@its.ac.id

HASIL ANALISIS LABORATORIUM PLANKTON

Sampel 1

Identitas sampel

Nama sampel : D15-PI/0911/MKR.1
Koordinat : S 07°14'09.40"
E 112°42'53.80"
Lokasi/stasiun : Titik 1 badan perairan boezem Morokrembangan Surabaya
Tanggal pengambilan sampel : 4 September 2011
Metode pengambilan sampel : Penyaringan sampel air dengan plankton net
Tanggal pengamatan sampel : 12 September 2011
Metode pengamatan sampel : Identifikasi morfologi (mikroskopis)

Analisisator

: Sofyan Aris

Supervisor

: Aunurohlim, S.Si., DEA

Tabel 1. Data Hasil Pengamatan Fitoplankton

No.	Spesies	Famili	ni	Di (%)	H'
1	<i>Rhizosolenia</i> sp.1	Rhizosoleniaceae	31	1.270	0.055
2	<i>Rhizosolenia</i> sp.2	Rhizosoleniaceae	94	3.852	0.125
3	<i>Nitzschia</i> sp	Bacillariaceae	281	11.516	0.249
4	<i>Euglena</i> sp	Euglenaceae	31	1.270	0.055
5	<i>Oscillatoria</i> sp	Oscillatoriaceae	1440	59.016	0.311
6	<i>Coelastrum</i> sp	Scenedesmaceae	469	19.221	0.317
7	<i>Scenedesmus</i> sp	Scenedesmaceae	94	3.852	0.125
Total			2440	100	1.239

Keterangan: ni : jumlah individu species i/liter sampel air
Di : Indeks Kelimpahan (Dominansi)
H' : Indeks Keanekaragaman (Diversitas) Shannon-Wiener



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM BIOLOGI

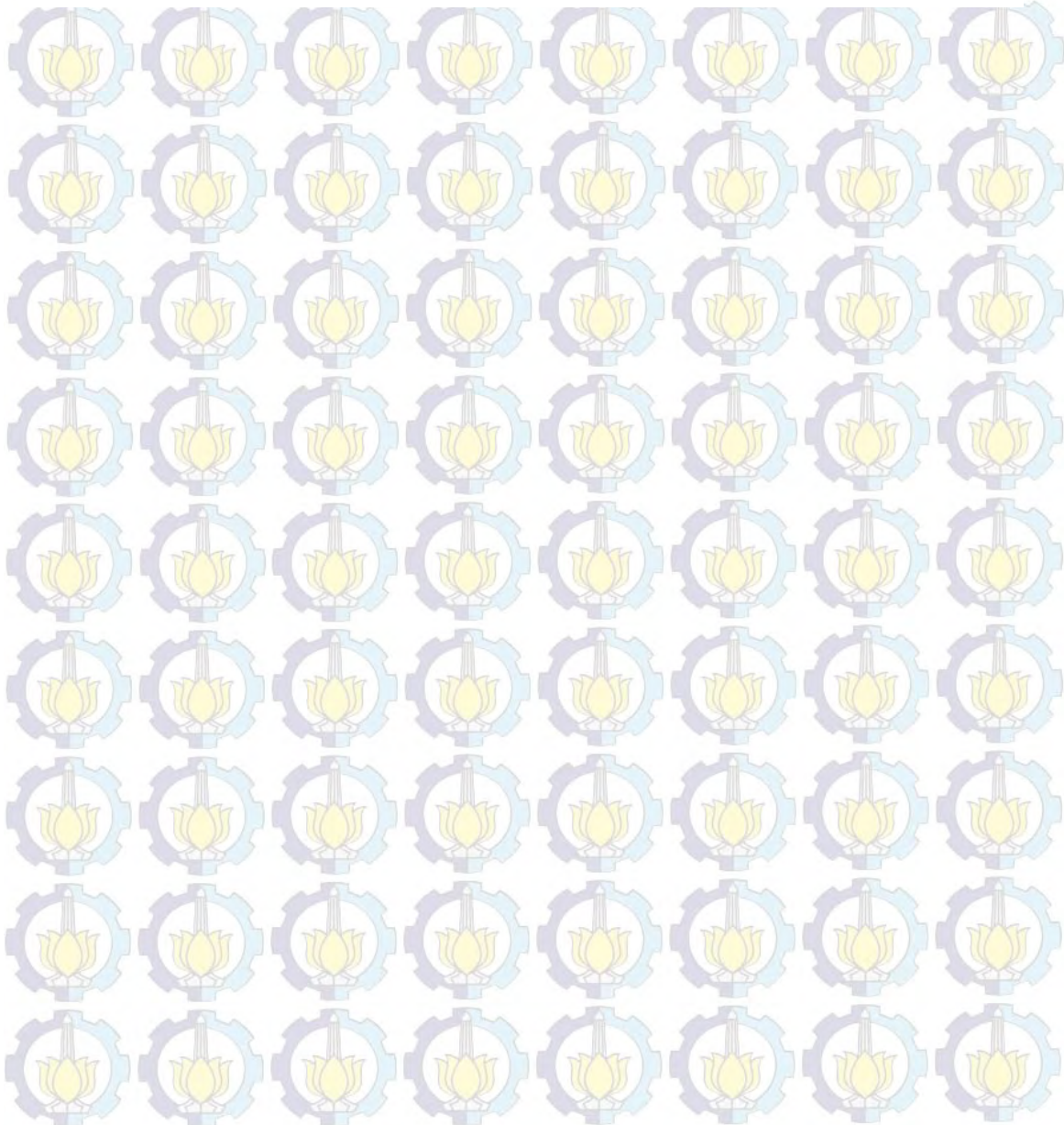
JURUSAN BIOLOGI
Gedung H Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031 596 3857, 599 4251-55 Pesawat: 1293, 1294
Fax: 031 596 3857
e-mail : biologi@its.ac.id

Tabel kualitas perairan menurut indeks diversitas fitoplankton

Indeks Keanekaragaman	Kondisi struktur komunitas	Kategori	Skala
> 2.41	Sangat stabil	Sangat baik	5
1.81 – 2.40	Lebih stabil	Baik	4
1.21 – 1.80	Stabil	Sedang	3
0.61 – 1.20	Cukup stabil	Buruk	2
< 0.60	Kurang stabil	Sangat buruk	1

Sumber : Wibisono, 2005

91





Sampel 2

Identitas sampel

Nama sampel	: 016-PI/0911/MKR.2
Koordinat	: S 07°13'56.40" E 112°42'44.90"
Lokasi/stasiun	: Titik 2 badan perairan boezem Morokrembangan Surabaya
Tanggal pengambilan sampel	: 4 September 2011
Metode pengambilan sampel	: Penyaringan sampel air dengan plankton net
Tanggal pengamatan sampel	: 11 September 2011
Metode pengamatan sampel	: Identifikasi morfologi (mikroskopis)

Analisisator

: Sofyan Aris

Supervisor

: Aunurohim, S.Si., DEA

Tabel 2. Data Hasil Pengamatan Fitoplankton

No.	Spesies	Famili	ni	Di (%)	H'
1	<i>Rhizosolenia</i> sp. 1	Rhizosoleniaceae	63	0.395	0.022
2	<i>Closterium</i> sp	Closteriaceae	31	0.194	0.012
3	<i>Euglena axyuris</i>	Euglenaceae	94	0.589	0.030
4	<i>Euglena</i> sp	Euglenaceae	156	0.978	0.045
5	<i>Oscillatoria</i> sp	Oscilatoriaceae	3369	21.114	0.328
6	<i>Spirulina</i> sp	Nostocaceae	6125	38.387	0.368
7	<i>Chlorella</i> sp	Chlorellaceae	5899	36.970	0.368
8	<i>Coscinodiscus</i> sp	Coscinodiscaceae	219	1.373	0.059
Total			15956	100	1.232

Keterangan: ni : jumlah individu species i/liter sampel air
Di : Indeks Kelimpahan (Dominansi)
H' : Indeks Keanekaragaman (Diversitas) Shannon-Wiener

Tabel kualitas perairan menurut indeks diversitas fitoplankton

Indeks Keanekaragaman	Kondisi struktur komunitas	Kategori	Skala
> 2.41	Sangat stabil	Sangat baik	5
1.81 – 2.40	Lebih stabil	Baik	4
1.21 – 1.80	Stabil	Sedang	3
0.61 – 1.20	Cukup stabil	Buruk	2
< 0.60	Kurang stabil	Sangat buruk	1

Sumber : Wibisono, 2005



LABORATORIUM BIOLOGI

JURUSAN BIOLOGI
Gedung H Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031 596 3857, 599 4251-55 Pesawat: 1293, 1294
Fax: 031 596 3857
e-mail : biologi@its.ac.id

Sampel 3

Identitas sampel

Nama sampel : 017-PI/0911/MKR.3
Koordinat : S 07°13'55.40"
E 112°43'03.60"
Lokasi/stasiun : Titik 3 badan perairan boezem Morokrembangan Surabaya
Tanggal pengambilan sampel : 4 September 2011
Metode pengambilan sampel : Penyaringan sampel air dengan plankton net
Tanggal pengamatan sampel : 13 September 2011
Metode pengamatan sampel : Identifikasi morfologi (mikroskopis)

Analisisator

: Sofyan Aris

Supervisor

: Aunurohim, S.Si., DEA

Tabel 3. Data Hasil Pengamatan Fitoplankton

No.	Spesies	Famili	ni	Di (%)	H'
1	<i>Rhizosolenia</i> sp.1	Rhizosoleniaceae	31	0.159	0.010
2	<i>Rhizosolenia</i> sp.2	Rhizosoleniaceae	188	0.967	0.045
3	<i>Nitzschia</i> sp	Bacillariaceae	125	0.643	0.032
4	<i>Euglena</i> sp	Euglenaceae	156	0.803	0.039
5	<i>Euglena axyuris</i>	Euglenaceae	31	0.159	0.010
6	<i>Oscillatoria</i> sp	Oscillatoriaceae	11004	56.608	0.322
7	<i>Scenedesmus</i> sp	Scenedesmaceae	656	3.375	0.114
8	<i>Spirulina</i> sp	Nostocaceae	2718	13.982	0.275
9	<i>Chlorella</i> sp	Chlorellaceae	4530	23.304	0.339
Total			19439	100	1.188

Keterangan: ni : jumlah individu species i/liter sampel air
Di : Indeks Kelimpahan (Dominansi)
H' : Indeks Keanekaragaman (Diversitas) Shannon-Wiener

Tabel kualitas perairan menurut indeks diversitas fitoplankton

Indeks Keanekaragaman	Kondisi struktur komunitas	Kategori	Skala
> 2.41	Sangat stabil	Sangat baik	5
1.81 – 2.40	Lebih stabil	Baik	4
1.21 – 1.80	Stabil	Sedang	3
0.61 – 1.20	Cukup stabil	Buruk	2
< 0.60	Kurang stabil	Sangat buruk	1

Sumber : Wibisono, 2005





ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM BIOLOGI

JURUSAN BIOLOGI
Gedung H Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031 596 3857, 599 4251-55 Pesawat: 1293, 1294
Fax: 031 596 3857
e-mail : biologi@its.ac.id

HASIL ANALISIS LABORATORIUM PLANKTON

Sampel 1

Identitas sampel

Nama sampel : 026-PI/1111/MKR.1
Koordinat : S 07°14'09.40"
E 112°42'53.80"
Lokasi/stasiun : Titik 1 badan perairan boezem Morokrengan Surabaya
Tanggal pengambilan sampel : 4 November 2011
Metode pengambilan sampel : Penyaringan sampel air dengan plankton net
Tanggal pengamatan sampel : 5 November 2011
Metode pengamatan sampel : Identifikasi morfologi (mikroskopis)

Analisisator

: Niki Habibi

Supervisor

: Aunurohim, S.Si., DEA

Tabel 1. Data Hasil Pengamatan Fitoplankton

No.	Spesies	Famili	ni	Di (%)	H'
1	<i>Rhizosolenia</i> sp	Rhizosoleniaceae	32	1.380	0.059
2	<i>Euglena acus</i>	Euglenaceae	31	1.337	0.058
3	<i>Actinastrum</i> sp	Scenedesmaceae	13	0.561	0.029
4	<i>Synura</i> sp	Mallomonadaceae	21	0.906	0.043
5	<i>Chroococcus</i> sp	Chroococcaceae	590	25.442	0.348
6	<i>Scenedesmus</i> sp	Scenedesmaceae	79	3.407	0.115
7	<i>Oscillatoria</i> sp	Oscillatoriaceae	1233	53.169	0.336
8	<i>Goniochloris</i> sp	Pleurochloridaceae	256	11.039	0.243
9	<i>Lemanea</i> sp	Lemaneaceae	32	1.380	0.059
10	<i>Nitzschia</i> sp	Nitzschiaceae	32	1.380	0.059
Total			2319	100	1.349

Keterangan: ni : jumlah individu species i/liter sampel air
Di : Indeks Kelimpahan (Dominansi)
H' : Indeks Keanekaragaman (Diversitas) Shannon-Wiener



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM BIOLOGI

JURUSAN BIOLOGI
Gedung H Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031 596 3857, 599 4251-55 Pesawat: 1293, 1294
Fax: 031 596 3857
e-mail : biologi@its.ac.id

Sampel 2

Identitas sampel

Nama sampel : 027-PI/1111/MKR.2
Koordinat : S 07°13'56.40"
E 112°42'44.90"
Lokasi/stasiun : Titik 2 badan perairan boezem Morokrengan Surabaya
Tanggal pengambilan sampel : 4 November 2011
Metode pengambilan sampel : Penyaringan sampel air dengan plankton net
Tanggal pengamatan sampel : 6 November 2011
Metode pengamatan sampel : Identifikasi morfologi (mikroskopis)

Analisis

: Niki Habibi

Supervisor

: Aunurohim, S.Si., DEA

Tabel 2. Data Hasil Pengamatan Fitoplankton

No.	Spesies	Famili	ni	Di (%)	H'
1	<i>Euglena acus</i>	Euglenaceae	54	1.069	0.049
2	<i>Actinastrum</i> sp	Scenedesmaceae	22	0.436	0.024
3	<i>Scenedesmus</i> sp	Scenedesmaceae	16	0.317	0.018
4	<i>Oscillatoria</i> sp	Oscillatoriaceae	3214	63.631	0.288
5	<i>Goniochloris</i> sp	Pleurochloridaceae	55	1.089	0.049
6	<i>Lemanea</i> sp	Lemaneaceae	31	0.614	0.031
7	<i>Rhizosolenia</i> sp	Rhizosoleniaceae	64	1.267	0.055
8	<i>Spirulina</i> sp	Nostocaceae	552	10.929	0.242
9	<i>Closterium</i> sp	Closteriaceae	21	0.416	0.023
10	<i>Zygnema</i> sp	Zygnemataceae	332	6.573	0.179
11	<i>Coscinodiscus</i> sp	Coscinodiscaceae	27	0.535	0.028
12	<i>Chroococcus</i> sp	Chroococcaceae	663	13.126	0.267
Total			5051	100	1.252

Keterangan: ni : jumlah individu species i/liter sampel air
Di : Indeks Kelimpahan (Dominansi)
H' : Indeks Keanekaragaman (Diversitas) Shannon-Wiener



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM BIOLOGI

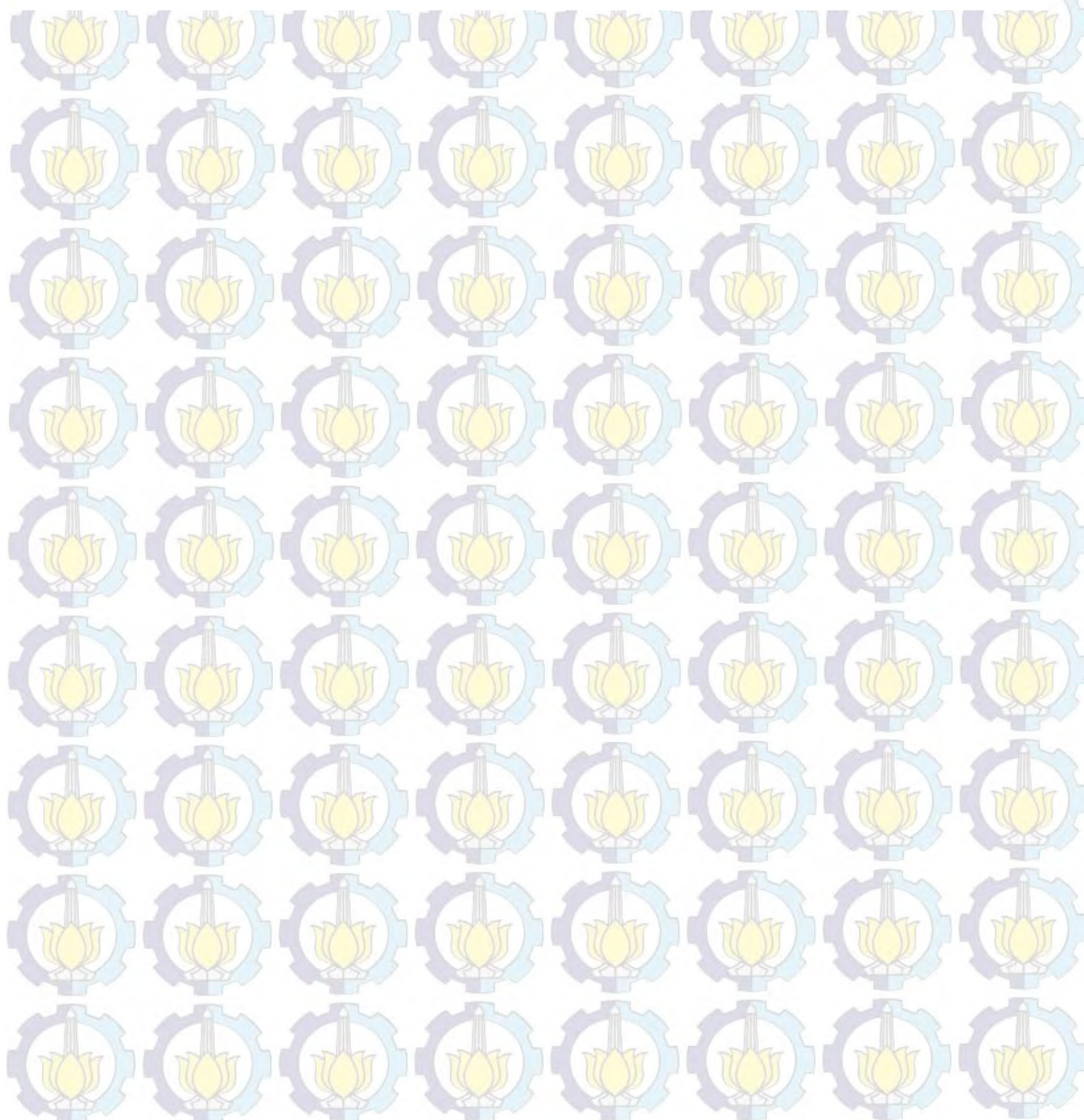
JURUSAN BIOLOGI
Gedung H Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031 596 3857, 599 4251-55 Pesawat: 1293, 1294
Fax: 031 596 3857
e-mail : biologi@its.ac.id

Tabel kualitas perairan menurut indeks diversitas fitoplankton

Indeks Keanekaragaman	Kondisi struktur komunitas	Kategori	Skala
> 2.41	Sangat stabil	Sangat baik	5
1.81 – 2.40	Lebih stabil	Baik	4
1.21 – 1.80	Stabil	Sedang	3
0.61 – 1.20	Cukup stabil	Buruk	2
< 0.60	Kurang stabil	Sangat buruk	1

Sumber : Wibisono, 2005

✓





ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM BIOLOGI

JURUSAN BIOLOGI
Gedung H Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031 596 3857, 599 4251-55 Pesawat: 1293, 1294
Fax: 031 596 3857
e-mail : biologi@its.ac.id

Sampel 3

Identitas sampel

Nama sampel : 028-PI/1111/MKR.3
Koordinat : S 07°13'55.40"
E 112°43'03.60"
Lokasi/stasiun : Titik 3 badan perairan boezem Morokrembangan Surabaya
Tanggal pengambilan sampel : 4 November 2011
Metode pengambilan sampel : Penyaringan sampel air dengan plankton net
Tanggal pengamatan sampel : 7 November 2011
Metode pengamatan sampel : Identifikasi morfologi (mikroskopis)

Analisis

: Niki Habibi

Supervisor

: Aunurohim, S.Si., DEA

Tabel 3. Data Hasil Pengamatan Fitoplankton

No.	Spesies	Famili	ni	Di (%)	H'
1	<i>Mesotaenium</i> sp	Mesotaeniaceae	18	0.669	0.034
2	<i>Euglena acus</i>	Euglenaceae	32	1.190	0.053
3	<i>Actinastrum</i> sp	Scenedesmaceae	44	1.636	0.067
4	<i>Scenedesmus</i> sp	Scenedesmaceae	21	0.781	0.038
5	<i>Oscillatoria</i> sp	Oscillatoriaceae	1339	49.777	0.347
6	<i>Lemanea</i> sp	Lemaneaceae	45	1.673	0.068
7	<i>Rhizosolenia</i> sp	Rhizosoleniaceae	38	1.413	0.060
8	<i>Spirulina</i> sp	Nostocaceae	372	13.829	0.274
9	<i>Chroococcus</i> sp	Chroococcaceae	781	29.033	0.359
Total			2690	100	1.300

Keterangan: ni : jumlah individu species i/liter sampel air
Di : Indeks Kelimpahan (Dominansi)
H' : Indeks Keanekaragaman (Diversitas) Shannon-Wiener

Tabel kualitas perairan menurut indeks diversitas fitoplankton

Indeks Keanekaragaman	Kondisi struktur komunitas	Kategori	Skala
> 2.41	Sangat stabil	Sangat baik	5
1.81 – 2.40	Lebih stabil	Baik	4
1.21 – 1.80	Stabil	Sedang	3
0.61 – 1.20	Cukup stabil	Buruk	2
< 0.60	Kurang stabil	Sangat buruk	1

Sumber : Wibisono, 2005



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM BIOLOGI

JURUSAN BIOLOGI
Gedung H Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031 596 3857, 599 4251-55 Pesawat: 1293, 1294
Fax: 031 596 3857
e-mail : biologi@its.ac.id

HASIL ANALISIS LABORATORIUM PLANKTON

Sampel 1

Identitas sampel

Nama sampel : 006-PI/1211/MKR.1
Koordinat : S 07°14'09.40"
E 112°42'53.80"
Lokasi/stasiun : Titik 1 badan perairan boezem Morokrembangan Surabaya
Tanggal pengambilan sampel : 10 Desember 2011
Metode pengambilan sampel : Penyaringan sampel air dengan plankton net
Tanggal pengamatan sampel : 13 Desember 2011
Metode pengamatan sampel : Identifikasi morfologi (mikroskopis)

Analisisator

: Linda Novita Sari

Supervisor

: Aunurohim, S.Si., DEA

Tabel 1a. Data Hasil Pengamatan Fitoplankton tanpa Preservasi

No.	Spesies	Famili	ni	Di (%)	H'
1	<i>Stephanodiscus</i> sp	Stephanodiscaceae	21	1.815	0.073
2	<i>Nitzschia</i> sp	Bacillariaceae	2	0.173	0.011
3	<i>Phacus</i> sp	Euglenaceae	28	2.420	0.090
4	<i>Closterium</i> sp	Closteriaceae	21	1.815	0.073
5	<i>Oscillatoria</i> sp	Oscillatoriaceae	789	68.194	0.261
6	<i>Fragilaria</i> sp	Fragilariaceae	52	4.494	0.139
7	<i>Synura</i> sp	Mallomonadaceae	77	6.655	0.180
8	<i>Phormidium tenue</i>	Phormidiaceae	45	3.889	0.126
9	<i>Skeletonema</i> sp	Skeletonemaceae	9	0.778	0.038
10	<i>Euglena proxima</i>	Euglenaceae	44	3.803	0.124
11	<i>Synedra</i> sp	Fragilariaceae	2	0.173	0.011
12	<i>Euglena</i> sp	Euglenaceae	34	2.939	0.104
13	<i>Chroococcus</i> sp	Chroococcaceae	33	2.852	0.101
Total			1157	100	1.332



Tabel 1b. Data Hasil Pengamatan Fitoplankton dengan Preservasi

No.	Spesies	Famili	ni	Di (%)	H'
1	<i>Synura</i> sp	Mallomonadaceae	104	6.357	0.175
2	<i>Phacus</i> sp	Euglenaceae	74	4.523	0.140
3	<i>Nitzschia</i> sp	Bacillariaceae	34	2.078	0.081
4	<i>Chroococcus</i> sp	Chroococcaceae	56	3.423	0.116
5	<i>Oscillatoria</i> sp	Oscillatoriaceae	1036	63.325	0.289
6	<i>Closterium</i> sp	Closteriaceae	24	1.467	0.062
7	<i>Merismopedia</i> sp	Merismopediaceae	6	0.367	0.021
8	<i>Euglena acus</i>	Euglenaceae	46	2.812	0.100
9	<i>Stephanodiscus</i> sp	Stephanodiscaceae	18	1.100	0.050
10	<i>Euglena proxima</i>	Euglenaceae	50	3.056	0.107
11	<i>Phormidium tenue</i>	Phormidiaceae	180	11.002	0.243
12	<i>Fragilaria</i> sp	Fragilariaceae	4	0.244	0.015
13	<i>Spirulina</i> sp	Oscillatoriaceae	4	0.244	0.015
Total			1636	100	1.412

Keterangan: ni : jumlah individu species i/liter sampel air
Di : Indeks Kelimpahan (Dominansi)
H' : Indeks Keanekaragaman (Diversitas) Shannon-Wiener

Tabel kualitas perairan menurut indeks diversitas fitoplankton

Indeks Keanekaragaman	Kondisi struktur komunitas	Kategori	Skala
> 2.41	Sangat stabil	Sangat baik	5
1.81 – 2.40	Lebih stabil	Baik	4
1.21 – 1.80	Stabil	Sedang	3
0.61 – 1.20	Cukup stabil	Buruk	2
< 0.60	Kurang stabil	Sangat buruk	1

Sumber : Wibisono, 2005



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM BIOLOGI

JURUSAN BIOLOGI
Gedung H Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031 596 3857, 599 4251-55 Pesawat: 1293, 1294
Fax: 031 596 3857
e-mail : biologi@its.ac.id

Sampel 2

Identitas sampel

Nama sampel : 007-PI/1211/MKR.2
Koordinat : S 07°13'56.40"
E 112°42'44.90"
Lokasi/stasiun : Titik 2 badan perairan boezem Morokrembangan Surabaya
Tanggal pengambilan sampel : 10 Desember 2011
Metode pengambilan sampel : Penyaringan sampel air dengan plankton net
Tanggal pengamatan sampel : 14 Desember 2011
Metode pengamatan sampel : Identifikasi morfologi (mikroskopis)

Analisis

: Linda Novita Sari

Supervisor

: Aunurohim, S.Si., DEA

Tabel 2a. Data Hasil Pengamatan Fitoplankton tanpa Preservasi

No.	Spesies	Famili	ni	Di (%)	H'
1	<i>Chroococcus</i> sp	Chroococcaceae	35	2.608	0.095
2	<i>Phacus</i> sp	Euglenaceae	48	3.577	0.119
3	<i>Synura</i> sp	Mallomonadaceae	56	4.173	0.133
4	<i>Flagilaria</i> sp	Fragilariaceae	10	0.745	0.037
5	<i>Closterium</i> sp	Closteriaceae	19	1.416	0.060
6	<i>Spirogyra</i> sp	Zygnemataceae	3	0.224	0.014
7	<i>Euglena</i> sp	Euglenaceae	45	3.353	0.114
8	<i>Spirulina</i> sp	Nostocaceae	1	0.075	0.005
9	<i>Oscillatoria</i> sp	Oscillatoriaceae	867	64.605	0.282
10	<i>Stephanodiscus</i> sp	Stephanodiscaceae	15	1.118	0.050
11	<i>Phormidium tenue</i>	Phormidiaceae	148	11.028	0.243
12	<i>Nitzschia acicularis</i>	Bacillariaceae	6	0.447	0.024
13	<i>Melosira</i> sp	Melosiraceae	75	5.589	0.161
14	<i>Navicula</i> sp	Naviculaceae	1	0.075	0.005
15	<i>Euglena proxima</i>	Euglenaceae	13	0.969	0.045
Total			1342	100	1.388



Tabel 2b. Data Hasil Pengamatan Fitoplankton dengan Preservasi

No.	Spesies	Famili	ni	Di (%)	H'
1	<i>Chlamydomonas</i> sp	Chlamydomonadaceae	22	1.170	0.052
2	<i>Chroococcus</i> sp	Chroococcaceae	22	1.170	0.052
3	<i>Closterium</i> sp	Closteriaceae	24	1.276	0.056
4	<i>Coscinodiscus</i> sp	Coscinodiscaceae	6	0.319	0.018
5	<i>Cryptomonas</i> sp	Cryptomonadaceae	4	0.213	0.013
6	<i>Dinobryon</i> sp	Dynobryaceae	2	0.106	0.007
7	<i>Euglena acus</i>	Euglenaceae	88	4.678	0.143
8	<i>Euglena proxima</i>	Euglenaceae	150	7.974	0.202
9	<i>Fragilaria</i> sp	Fragilariaceae	6	0.319	0.018
10	<i>Merismopedia</i> sp	Merismopediaceae	2	0.106	0.007
11	<i>Navicula</i> sp	Naviculaceae	4	0.213	0.013
12	<i>Nitzschia holsatica</i>	Bacillariaceae	14	0.744	0.036
13	<i>Nitzschia</i> sp	Bacillariaceae	14	0.744	0.036
14	<i>Oscillatoria</i> sp	Oscillatoriaceae	1362	72.408	0.234
15	<i>Phacus</i> sp	Euglenaceae	86	4.572	0.141
16	<i>Pleurosigma</i> sp	Pleurosigmataceae	4	0.213	0.013
17	<i>Skeletonema</i> sp	Skeletonemaceae	26	1.382	0.059
18	<i>Strombomonas verrucosa</i>	Euglenaceae	4	0.213	0.013
19	<i>Synedra</i> sp	Fragilariaceae	6	0.319	0.018
20	<i>Synura</i> sp	Mallomonadaceae	35	1.861	0.074
Total			1881	100	1.208

Keterangan: ni : jumlah individu species i/liter sampel air
Di : Indeks Kelimpahan (Dominansi)
H' : Indeks Keanekaragaman (Diversitas) Shannon-Wiener

Tabel kualitas perairan menurut indeks diversitas fitoplankton

Indeks Keanekaragaman	Kondisi struktur komunitas	Kategori	Skala
> 2.41	Sangat stabil	Sangat baik	5
1.81 – 2.40	Lebih stabil	Baik	4
1.21 – 1.80	Stabil	Sedang	3
0.61 – 1.20	Cukup stabil	Buruk	2
< 0.60	Kurang stabil	Sangat buruk	1

Sumber : Wibisono, 2005



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM BIOLOGI

JURUSAN BIOLOGI
Gedung H Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031 596 3857, 599 4251-55 Pesawat: 1293, 1294
Fax: 031 596 3857
e-mail : biologi@its.ac.id

Sampel 3

Identitas sampel

Nama sampel : 008-PI/1211/MKR.3
Koordinat : S 07°13'55.40"
E 112°43'03.60"
Lokasi/stasiun : Titik 3 badan perairan boezem Morokrembangan Surabaya
Tanggal pengambilan sampel : 10 Desember 2011
Metode pengambilan sampel : Penyaringan sampel air dengan plankton net
Tanggal pengamatan sampel : 15 Desember 2011
Metode pengamatan sampel : Identifikasi morfologi (mikroskopis)

Analisisator

: Linda Novita Sari

Supervisor

: Aunurohim, S.Si., DEA

Tabel 3a. Data Hasil Pengamatan Fitoplankton tanpa Preservasi

No.	Spesies	Famili	ni	Di (%)	H'
1	<i>Oscillatoria</i> sp	Oscillatoriaceae	980	77.655	0.196
2	<i>Closterium</i> sp	Closteriaceae	25	1.981	0.078
3	<i>Phacus</i> sp	Euglenaceae	20	1.585	0.066
4	<i>Synura</i> sp	Mallomonadaceae	39	3.090	0.107
5	<i>Euglena proxima</i>	Euglenaceae	24	1.902	0.075
6	<i>Flagilaria</i> sp	Fragilariaceae	13	1.030	0.047
7	<i>Spirulina</i> sp	Nostocaceae	2	0.158	0.010
8	<i>Euglena</i> sp	Euglenaceae	8	0.634	0.032
9	<i>Tabellaria fenestrata</i>	Tabellariaceae	7	0.555	0.029
10	<i>Stephanodiscus</i> sp	Stephanodiscaceae	34	2.694	0.097
11	<i>Phormidium tenue</i>	Phormidiaceae	110	8.716	0.213
Total			1262	100	0.951



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM BIOLOGI

JURUSAN BIOLOGI
Gedung H Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031 596 3857, 599 4251-55 Pesawat: 1293, 1294
Fax: 031 596 3857
e-mail : biologi@its.ac.id

Tabel 3b. Data Hasil Pengamatan Fitoplankton dengan Preservasi

No.	Spesies	Famili	ni	Di (%)	H'
1	<i>Euglena acus</i>	Euglenaceae	24	0.865	0.041
2	<i>Euglena</i> sp	Euglenaceae	84	3.028	0.106
3	<i>Phacus</i> sp	Euglenaceae	62	2.235	0.085
4	<i>Synura</i> sp	Mallomonadaceae	204	7.354	0.192
5	<i>Spirulina</i> sp	Oscillatoriaceae	2	0.072	0.005
6	<i>Phormidium tenue</i>	Phormidiaceae	420	15.141	0.286
7	<i>Oscillatoria</i> sp	Oscillatoriaceae	1764	63.590	0.288
8	<i>Merismopedia</i> sp	Merismopediaceae	8	0.288	0.017
9	<i>Fragilaria</i> sp	Fragilariaceae	4	0.144	0.009
10	<i>Synedra</i> sp	Fragilariaceae	4	0.144	0.009
11	<i>Navicula</i> sp.2	Naviculaceae	2	0.072	0.005
12	<i>Nitzschia holsatica</i>	Bacillariaceae	26	0.937	0.044
13	<i>Skeletonema</i> sp	Skeletonemaceae	24	0.865	0.041
14	<i>Rhizosolenia</i> sp	Rhizosoleniaceae	2	0.072	0.005
15	<i>Chlamydomonas</i> sp	Chlamydomonadaceae	144	5.191	0.154
Total			2774	100	1.287


Keterangan: ni : jumlah individu species i/liter sampel air
Di : Indeks Kelimpahan (Dominansi)
H' : Indeks Keanekaragaman (Diversitas) Shannon-Wiener

Tabel kualitas perairan menurut indeks diversitas fitoplankton

Indeks Keanekaragaman	Kondisi struktur komunitas	Kategori	Skala
> 2.41	Sangat stabil	Sangat baik	5
1.81 – 2.40	Lebih stabil	Baik	4
1.21 – 1.80	Stabil	Sedang	3
0.61 – 1.20	Cukup stabil	Buruk	2
< 0.60	Kurang stabil	Sangat buruk	1

Sumber : Wibisono, 2005

Surabaya, Desember 2011
Kepala Laboratorium Ekologi
Prodi Biologi FMIPA-ITS


Aunurohman, S.Si., DEA
NIP. 19730504 200501 1 002



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM BIOLOGI

JURUSAN BIOLOGI
Gedung H Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp: 031 596 3857, 599 4251-55 Pesawat: 1293, 1294
Fax: 031 596 3857
e-mail : biologi@its.ac.id

HASIL ANALISIS LABORATORIUM PLANKTON

Sampel 1

Identitas sampel

Nama sampel : 041-PI/1212/TL.1
Pengirim : Mahasiswa Teknik Lingkungan ITS
Tanggal penerimaan sampel : 13 Desember 2012
Tanggal pengamatan sampel : 14 Desember 2012
Metode pengamatan sampel : Identifikasi morfologi (mikroskopis)

Analisisator

: Erna Rofidah

Supervisor

: Farid K. Muzaki, S.Si., M.Si

Tabel 1. Data Hasil Pengamatan Fitoplankton

No.	Spesies	Famili	ni	Di (%)	H'
FITOPLANKTON					
1	<i>Coscinodiscus</i> sp	Coscinodiscaceae	56	1.408	0.060
2	<i>Synedra</i> sp	Fragilariaceae	22	0.553	0.029
3	<i>Oscillatoria</i> sp	Oscillatoriaceae	2750	69.130	0.255
4	<i>Euglena</i> sp	Euglenaceae	620	15.586	0.290
5	<i>Navicula</i> sp	Naviculaceae	40	1.006	0.046
6	<i>Volvox</i> sp	Volvocaceae	420	10.558	0.237
7	<i>Pediastrum</i> sp	Pediastraceae	20	0.503	0.027
8	<i>Anabaena</i> sp	Nostocaceae	50	1.257	0.055
Total			3978	100	0.999

Keterangan: ni : jumlah individu species i/liter sampel air
Di : Indeks Kelimpahan (Dominansi)
H' : Indeks Keanekaragaman (Diversitas) Shannon-Wiener

Tabel kualitas perairan menurut indeks diversitas fitoplankton dan zooplankton

Indeks Keanekaragaman	Kondisi struktur komunitas	Kategori	Skala
> 2.41	Sangat stabil	Sangat baik	5
1.81 – 2.40	Lebih stabil	Baik	4
1.21 – 1.80	Stabil	Sedang	3
0.61 – 1.20	Cukup stabil	Buruk	2
< 0.60	Kurang stabil	Sangat buruk	1

Sumber : Wibisono, 2005



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM BIOLOGI

JURUSAN BIOLOGI
Gedung H Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60115
Telp: 031 596 3857, 599 4251-55 Pesawat: 1293, 1294
Fax: 031 596 3857
e-mail : biologi@its.ac.id

Sampel 2

Identitas sampel

Nama sampel : 042-PI/1212/TL.2
Pengirim : Mahasiswa Teknik Lingkungan ITS
Tanggal penerimaan sampel : 13 Desember 2012
Tanggal pengamatan sampel : 14 Desember 2012
Metode pengamatan sampel : Identifikasi morfologi (mikroskopis)

Analisisator

: Sofyan Aris

Supervisor

: Farid K. Muzaki, S.Si., M.Si

Tabel 2. Data Hasil Pengamatan Fitoplankton

No.	Spesies	Famili	ni	Di (%)	H'
FITOPLANKTON					
1	<i>Oscillatoria</i> sp	Oscillatoriaceae	2428	73.221	0.228
2	<i>Synedra</i> sp	Fragilariaceae	168	5.066	0.151
3	<i>Aphanocapsa</i> sp	Merismopediaceae	96	2.895	0.103
4	<i>Pandorina</i> sp	Volvocaceae	132	3.981	0.128
5	<i>Closterium</i> sp	Closteriaceae	12	0.362	0.020
6	<i>Spirulina</i> sp	Oscillatoriaceae	12	0.362	0.020
7	<i>Phacus</i> sp	Euglenaceae	120	3.619	0.120
8	<i>Euglena</i> sp	Euglenaceae	156	4.704	0.144
9	<i>Pediastrum</i> sp	Pediastraceae	192	5.790	0.165
Total			3316	100	1.080

Keterangan: ni : jumlah individu species i/liter sampel air
Di : Indeks Kelimpahan (Dominansi)
H' : Indeks Keanekaragaman (Diversitas) Shannon-Wiener

Tabel kualitas perairan menurut indeks diversitas fitoplankton dan zooplankton

Indeks Keanekaragaman	Kondisi struktur komunitas	Kategori	Skala
> 2.41	Sangat stabil	Sangat baik	5
1.81 – 2.40	Lebih stabil	Baik	4
1.21 – 1.80	Stabil	Sedang	3
0.61 – 1.20	Cukup stabil	Buruk	2
< 0.60	Kurang stabil	Sangat buruk	1

Sumber : Wibisono, 2005



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM BIOLOGI

JURUSAN BIOLOGI
Gedung H Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 6011
Telp: 031 596 3857, 599 4251-55 Pesawat: 1293, 1294
Fax: 031 596 3855
e-mail : biologi@its.ac.id

Sampel 3

Identitas sampel

Nama sampel : 043-PI/1212/TL.3
Pengirim : Mahasiswa Teknik Lingkungan ITS
Tanggal penerimaan sampel : 13 Desember 2012
Tanggal pengamatan sampel : 14 Desember 2012
Metode pengamatan sampel : Identifikasi morfologi (mikroskopis)

Analisis

: M. Romadhoni

Supervisor

: Farid K. Muzaki, S.Si., M.Si

Tabel 3. Data Hasil Pengamatan Fitoplankton

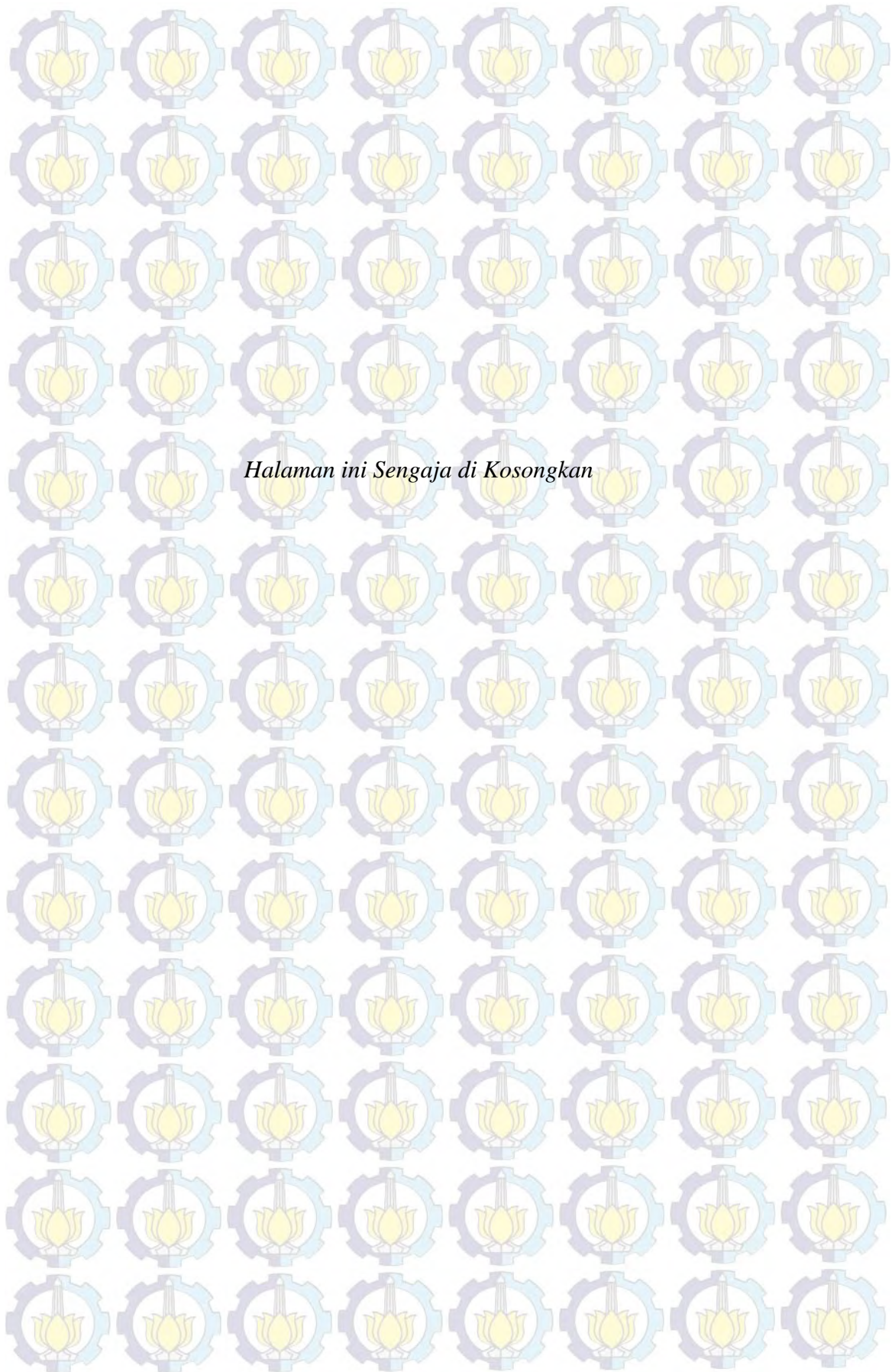
No.	Spesies	Famili	ni	Di (%)	H'
FITOPLANKTON					
1	<i>Oscillatoria</i> sp	Oscillatoriaceae	2325	55.635	0.326
2	<i>Scenedesmus</i> sp	Scenedesmaceae	6	0.144	0.009
3	<i>Synedra</i> sp	Fragilariaceae	66	1.579	0.066
4	<i>Navicula</i> sp	Naviculaceae	18	0.431	0.023
5	<i>Nitzschia</i> sp	Bacillariaceae	174	4.164	0.132
6	<i>Euglena</i> sp	Euglenaceae	594	14.214	0.277
7	<i>Spirulina</i> sp	Oscillatoriaceae	12	0.287	0.017
8	<i>Coscinodiscus</i> sp	Coscinodiscaceae	6	0.144	0.009
9	<i>Chlamydomonas</i> sp	Chlamydomonadaceae	54	1.292	0.056
10	<i>Closterium</i> sp	Closteriaceae	60	1.436	0.061
11	<i>Phacus</i> sp	Euglenaceae	240	5.743	0.164
12	<i>Pediastrum</i> sp	Pediastraceae	6	0.144	0.009
13	<i>Coelastrum</i> sp	Coelastraceae	522	12.491	0.260
14	<i>Netrium</i> sp	Neidiaceae	84	2.010	0.079
15	<i>Pandorina</i> sp	Volvocaceae	12	0.287	0.017
Total			4179	100	1.506

Keterangan: ni : jumlah individu species i/liter sampel air
Di : Indeks Kelimpahan (Dominansi)
H' : Indeks Keanekaragaman (Diversitas) Shannon-Wiener

Tabel kualitas perairan menurut indeks diversitas fitoplankton dan zooplankton

Indeks Keanekaragaman	Kondisi struktur komunitas	Kategori	Skala
> 2.41	Sangat stabil	Sangat baik	5
1.81 – 2.40	Lebih stabil	Baik	4
1.21 – 1.80	Stabil	Sedang	3
0.61 – 1.20	Cukup stabil	Buruk	2
< 0.60	Kurang stabil	Sangat buruk	1

Sumber : Wibisono, 2005



Halaman ini Sengaja di Kosongkan

LAMPIRAN VI

ANALISIS PRODUKSI ALGA, O₂, SERAPAN CO₂ DAN PRODUKSI CO₂ DARI PROSES BIODEGRADASI dan KEBUTUHAN AERATOR

Data Produksi Air Limbah dari Area Pelayanan Boezem

Parameter Perencanaan	Satuan	Hasil
Luas Boezem	Ha	37,6
Area Pelayanan dari Kota Surabaya	%	25
Estimasi Penduduk Surabaya	Jiwa	3.000.000
Estimasi Populasi Penduduk		
Pembuang Air Limba Ke Boezem	Jiwa	750.000
Estimasi Pemakaian Air	liter/Orang.Jiwa	125
Rasio Air Limbah/Air Bersih	-	0,75
Produksi air limbah domestik	liter/orang.hari	93,75
Debit rerata,		813,80
	liter /hari	70312500
Faktor Puncak,	$F = 5/(M)^{1/6}$	1,6588
Debit Puncak	liter /detik	1627,6
Settling time, jam	jam	4
Volumen settling	m ³	19439,0
Kedalaman settling	m	0,5
Luas Area	Ha	6,5
Debit puncak	liter/detik	1349,93
Volume Efektif Boezem untuk		
Proses, 60	Ha	22,56
HRT	Hari	1,94
HRT		
BOD influen	mg/L	120
BOD efluen	mg/L	12
Q Air Limbah Domestik	liter/detik	1627,6
Biomassa aktif, X	mg VSS/L	54
Kebutuhan O ₂	kg O ₂ /hari	4404,375
	Kg O ₂ /detik	0,051
Estimasi Kebutuhan Malam hari	%	50
Kebutuhan O ₂ Malam hari	kg O ₂ /12 jam	2202,1875
	kg O ₂ /jam	183,5156
Net Transfer Oksigen Surface		
Aerator	kg O ₂ /jam	4,99
Kebutuhan Aerator	buah	37

Volume Boezem di dipulihkan	m ³	210560
HRT	Jam	36
	Hari	1,50

A. Perhitungan Kebutuhan Surface Aerator

Kebutuhan Aerator untuk menjaga Defisit Oksigen di malam hari

Kenaikan O ₂	mg/L	2,0
Kebutuhan O ₂	kg O ₂ /hari	421,1
	kg O ₂ /jam	61,3
Kemampuan transfer O ₂	kg O ₂ /jam	4,99
Kebutuhan Surface aerator	buah	12,3
Model kincir air	buah	13,0

B. Perhitungan Produksi Oksigen dan Penyerapan CO₂

Perhitungan penentuan produksi alga menggunakan pendekatan persamaan :

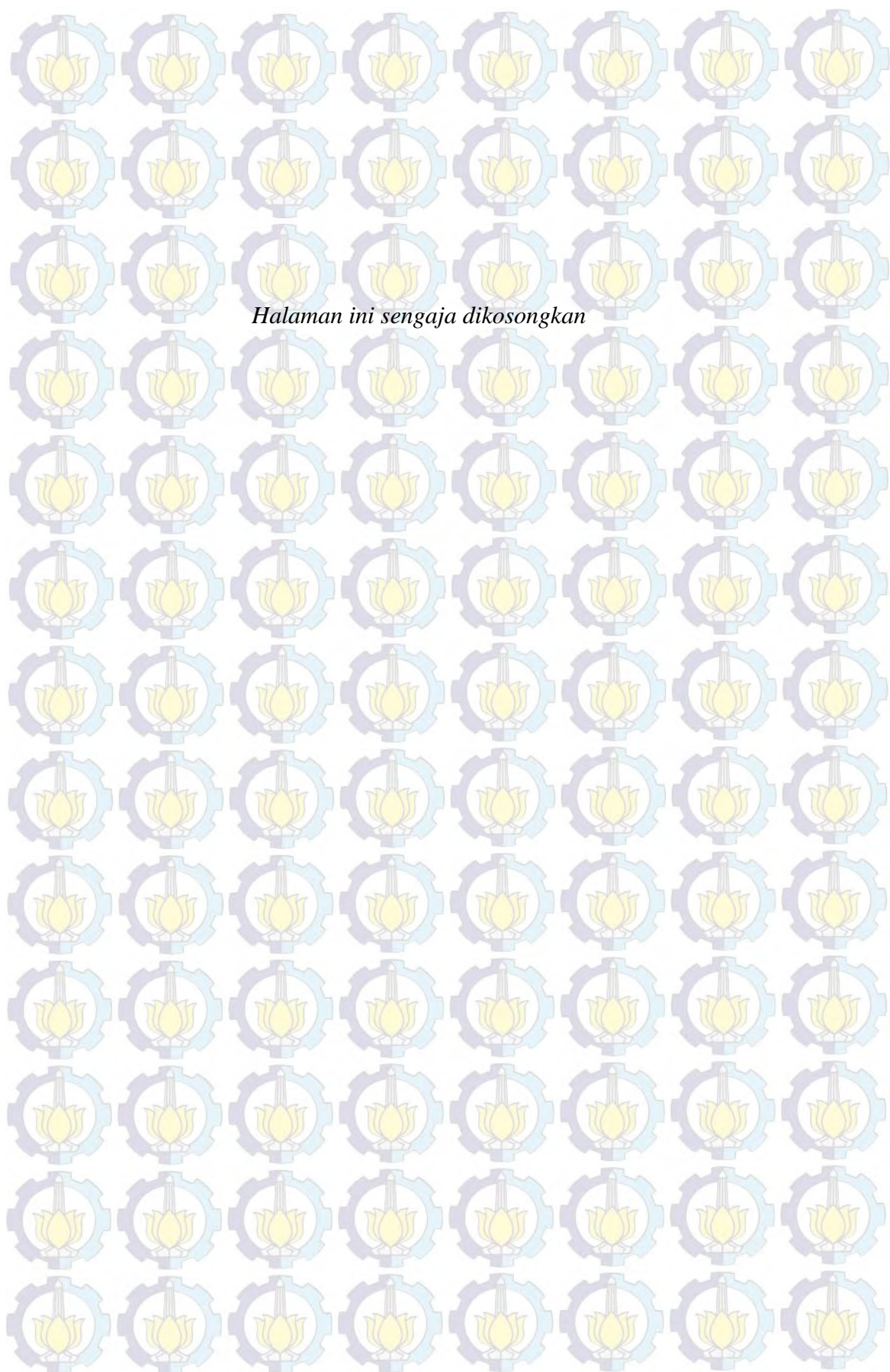
$$Ca = 0,001475 \left(\frac{HRT}{Z} \right)^{1,71} Lo^{0,7} T^{1,3}$$

$$Pa = Ca \left(\frac{Z}{HRT} \right)$$

Data Perhitungan HRAP

Parameter	Satuan	Nilai
h	kg cal/g	6
Lt = BOD ₅ influen	mg BOD/L	120
F		0,1
I	Candle -ft ²	8130
p	mg O ₂ /mg sel	1,58
Tc , faktor konversi suhu		0,82
f konversi BOD ke alga	mg BOD/mg alga	1,5
Estimasi produksi alga	mg/L	80
Alpha		0,0015
Kedalaman air	cm	75,0
	m	0,75
HRT	hari	3,40
Ca	mg/L	46,16

Pa	g/m ² .hari	23,09
Produksi alga 80 % area		
Boezem	kg/hari	6945,230
Produksi O ₂	gr O ₂ /m ² .hari	36,481
Waktu penyinaran	10 jam	
Net produksi O ₂	gr O ₂ /m ² .hari	18,240
Total produksi O ₂	kg O ₂ /m ² .hari	5486,732
CO ₂ terserap	gr CO ₂ /m ² .hari	44,331
	gr CO ₂ / hari	13334,842
Produksi CO ₂ km Biodegradasi		
Beban BOD	kg/hari	6328,125
Produksi CO ₂	kg/hari	8701,172



Riwayat Hidup Singkat

- a. Nama lengkap : Agus Slamet
 b. Tempat, tanggal lahir : Magetan, 11 Agustus 1959
 c. Agama : Islam
 d. Alamat : Wonorejo Asri I Blok D - 10 Surabaya
 e. Telepon / Faks/E-mail : (031)8705762/ suga@its.ac.id
 f. Pekerjaan : Staf Pengajar Jurusan Teknik Lingkungan FTSP - ITS

f. Riwayat pendidikan

1. Formal

SMAN	Magetan	SMA	1980
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya	Teknik Kimia	S - 1	1986
		Post Graduate Diploma	1995
IHE - DELFT Belanda	Sanitary Engineering		
	Sanitary Engineering	S - 2	1996

2. Non Formal :

- Berbagai Kursus dan Pelatihan di bidang Teknologi dan Manajemen Lingkungan
- Pelatihan di Bidang Pengajaran

g. Riwayat Jabatan

- Sekretaris Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – ITS : 1997-2003
- Ketua Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – ITS : 2003 - 2007

h. Publikasi selama studi S - 3

JUDUL ARTIKEL	NAMA JURNAL	EDISI	TAHUN	JENIS JURNAL
Absortion capability of Carbon Dioxide (CO ₂) by Algae reducing Carbon Emissions in Urban Area	<i>Journal of Applied Environmental and Biological Sciences,</i>	4(1):94-99	2014	Jurnal Internasional
Effect of Light Exposure and Water Depth on the Performance of Algae Reactor during the Treatment of Surabaya municipal wastewater	<i>Journal of Applied Environmental and Biological Sciences,</i>	2(12):615-619, 2012	2012	Jurnal Internasional
Seasonal variation in chemical properties and degradability by anaerobic digestion of landfill leachate at Benowo in Surabaya, Indonesia	<i>Journal of Environmental Management, ELSEVIER</i>	110 (2012) 267-275	2012	Jurnal Internasional
Remediation of the Boezem polluted by urban wastewater using the cultivation of algae. (Case Study : Boezem in Surabaya City)	Proceeding the 4 th ETMC Bandung	ISBN 978-979-98278-3-8	2011	Procedding
Kinerja Boezem Pada Penurunan Konsentrasi Padatan Dan COD Air Limbah Perkotaan	Seminar Nasional Teknik Lingkungan		2012	Procedding

SEMINAR

Judul Makalah	Kegiatan	Tahun	Penyelenggara
Efek Pengkayaan Nutrien, Salinitas dan pH pada Biokinetika HRAP dengan kultur alga dari Boezem Morokremlangan Kota Surabaya	Seminar Nasional Teknologi Lingkungan XII	2015	Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – ITS.
The Possibility of Application HARP System for Bioremediation of Morokremlangan Boezem in the City of Surabaya	Seminar Internasional IPCB 2014	2014	Soka University – Universitas Malaysia Trengganu
The Effect of Additional COD as CO ₂ Source on the Growth Rate of Algae during the High Rate Algae Reactor (HRAR) System.	The International Seminar Environmental Engineering	4 th on 2013	ITS – UDAYANA